

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE OURO PRETO
ESCOLA DE MINAS
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL**

APOSTILA

MATERIAIS DE CONSTRUÇÃO I – CIV237

(Edição 2009)

PROF. DR. ESPEDITO FELIPE TEIXEIRA DE CARVALHO

Fevereiro / 2009

SUMÁRIO

MATERIAIS DE CONSTRUÇÃO I – CIV237.....	1
SUMÁRIO	2
INTRODUÇÃO	3
PEDRAS NATURAIS	15
AGLOMERANTES EM GERAL	18
GESSO	22
MAGNÉSIA SOREL (OU SAREE)	31
CAL AÉREA	32
CIMENTO PORTLAND	40
ENSAIOS DE RECEPÇÃO DO CIMENTO	61
AGREGADOS PARA CONCRETO	67
DOSAGEM EMPÍRICA	92
EXERCÍCIOS SOBRE DOSAGENS DE CONCRETO.....	118
RESUMO.....	122
PROPPRIEDADES DO CONCRETO.....	124
PROPRIEDADES DO CONCRETO ENDURECIDO	131
PERMEABILIDADE DO CONCRETO.....	148
DEFORMAÇÕES DO CONCRETO	153
DURABILIDADE DO CONCRETO.....	163
PRODUÇÃO DOS CONCRETOS – CONCRETAGEM.....	172
CONTROLE TECNOLÓGICO DO CONCRETO	178
R E C O N S T I T U I Ç Ã O D E T R A Ç O S	188
ARGAMASSAS	191
9 - PATOLOGIA DAS ARGAMASSAS DE REVESTIMENTO.....	194
PRINCIPAIS ADITIVOS QUÍMICOS.....	197
ADITIVOS PARA CONCRETO (continuação)	202
CONCRETOS ESPECIAIS	204
BIBLIOGRAFIA.....	213

DISCIPLINA : MATERIAIS DE CONSTRUÇÃO I

INTRODUÇÃO

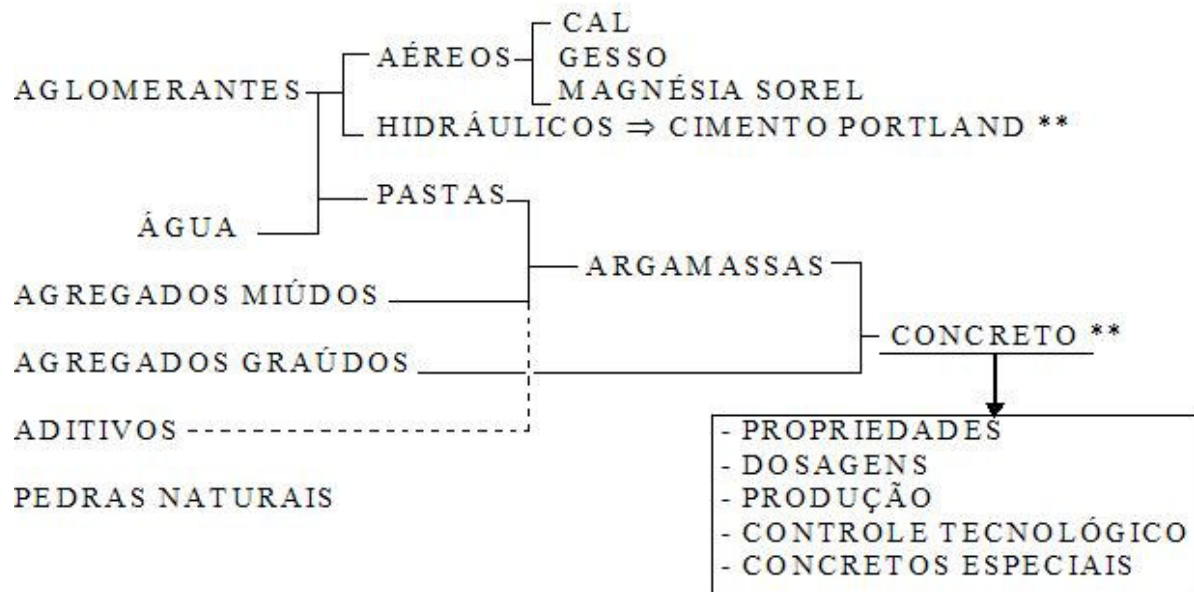
- 1) Objetivo e Importância da Disciplina / Ementa.
- 2) Condições a que devem satisfazer os Materiais
- 3) Ensaio de Materiais
- 4) Normalização
- 5) Especificações Técnicas

1 - OBJETIVO / EMENTA:

O objetivo fundamental da Disciplina Materiais de Construção é :
estudar os materiais para conhecê-los e saber aplicá-los, incluindo:

- Extração ⇒ materiais naturais
 — Fabricação ⇒ materiais artificiais
- a) OBTENÇÃO
 - b) PROPRIEDADES CARACTERÍSTICAS - Ensaio de Laboratório
 - c) UTILIZAÇÃO - Condições de Seu Emprego

EMENTA DE MATERIAIS DE CONSTRUÇÃO I



OBS.: Esta é uma disciplina **informativa** de **caráter prático**

COLOCAÇÃO DE UM PROBLEMA

No cumprimento das suas funções, ao engenheiro civil, cabe:

Arquitetar, Dimensionar, Construir, Proteger e Conservar,

São, portanto, funções do Engenheiro Civil:

Arquitetar	Dimensionar	Construir	Proteger	Conservar
Conceber uma obra para atender às finalidades visadas: conforto, funcionalidade, higiene, estética e outras.	Conhecendo os esforços internos, fixar as dimensões dos elementos estruturais p/ que conservem suas posições e formas , isto p/ esforços externos determináveis.	materializar a obra concebida, confeccionando e montando seus elementos , usando os materiais previamente escolhidos	Recorrendo a outros materiais , o engenheiro procurará aumentar a durabilidade de uma obra construída com um determinado tipo de material, quando este for passível de sofrer ataques por agentes externos.	retocar ou reformar partes da construção cuja durabilidade tenha se expirado (acidentalmente ou por envelhecimento), usando materiais da mesma natureza ou não

Vemos, assim, que nas várias funções que ao engenheiro cabe desempenhar os **materiais de construção** desempenham papel importantíssimo, seja no tocante à segurança, à economia ou à durabilidade da mesma.

pré-requisitos profissionais: **segurança, economia e durabilidade.**



propriedades
mecânicas



menor custo,
trabalhabilidade



propriedades físicas
e químicas

De um modo geral, do ponto de vista da segurança, interessará ao engenheiro conhecer as propriedades mecânicas dos materiais; do ponto de vista da durabilidade, interessará as propriedades físicas e químicas; do ponto de vista econômico interessará seu preço, trabalhabilidade, etc.

PROBLEMA

Em face das necessidades do engenheiro, relativamente aos materiais usados em construção, o problema que nos propusemos colocar consistirá em:

- 1º) Escolher o material mais adequado para a materialização de um dado tipo de construção levando em conta: segurança, economia e durabilidade;
- 2º) Como pré-requisito à escolha, conhecer suas propriedades, isoladamente ou associados, o que exigirá pacientes ensaios em laboratório.

A resolução do problema proposto é, precisamente, o objetivo do presente curso;

e

ressalta a importância dos materiais de construção na vida profissional do engenheiro.

**2) CONDIÇÕES A QUE DEVEM SATISFAZER OS MATERIAIS PARA
UMA DETERMINADA CONSTRUÇÃO:**

CONDIÇÕES TÉCNICAS (QUALIDADE)	RESISTÊNCIA TRABALHABILIDADE DURABILIDADE HIGIENE (PROTEÇÃO À SAÚDE)
CONDIÇÕES ECONÔMICAS (CUSTOS)	FABRICAÇÃO TRANSPORTE APLICAÇÃO CONSERVAÇÃO
CONDIÇÕES ESTÉTICAS (APARÊNCIA GERAL)	COR ASPECTO PLÁSTICA

Observação: “Não possuindo qualidade, o material será “barato ou de baixo custo”, mas não será viável economicamente. Um material só poderá ser considerado satisfatoriamente econômico se for de boa qualidade”.

Exercício de aplicação: Façamos um comentário sobre cada uma das 11 condições a serem atendidas pelo **concreto** para que uma estrutura com ele executada possa ser considerada de **boa qualificação**.

PONTO FUNDAMENTAL: As condições a que devem satisfazer cada material para uma obra de engenharia de boa qualificação precisam **traduzir um equilíbrio** entre todos os requisitos. Além disso, em cada requisito, qualquer alteração, para mais ou para menos, trará reflexos negativos, seja na qualidade, nas condições econômicas ou nas condições estéticas e esse equilíbrio deve atingir todo o conjunto de materiais empregado na obra. Assim sendo, **para o concreto, tem-se:**

Resistência: Deve ser a adequada para cada caso. Se for insuficiente, isto é, com falta de cimento, prejudicará a estética em primeiro lugar (aparência porosa, fissuração, etc) depois a durabilidade e a própria segurança das estruturas com ele executadas. Se for em excesso para aquela aplicação, irá aumentar o custo. Num caso de super excesso, em peças de dimensões grandes, por exemplo, a estrutura sofrerá tensões de origem térmica exatamente pelo calor de hidratação do cimento e tenderá à fissuração generalizada, o que irá reduzir, outra vez, a segurança. Em peças que deverão conter água, a relação A/C deverá ser pequena para que tal fato não ocorra (a retração levará a > fissuração, que levará a > permeabilidade, a armadura sofrerá > taxa de corrosão; com isso, haverá deterioração e possível ruína).

Trabalhabilidade: Cada material tem uma característica própria. Deve-se procurar o máximo de trabalhabilidade sem prejudicar as outras condições técnicas ou estéticas. No caso do concreto, trabalhabilidade em excesso (muita água) prejudicará a resistência e a durabilidade por excesso de porosidade futura, ao passo que trabalhabilidade de menos (muito seco) irá prejudicar todas as outras condições, tanto técnicas e estéticas quanto econômicas, também por excesso de porosidade pela falta de adensamento.

Durabilidade: É o quesito que mais depende da boa execução. Concretos potencialmente duráveis (com dosagem adequada) podem ter sua vida útil bastante reduzida se forem mal aplicados (apresentando alta porosidade, mal preenchimento das formas, fissuração generalizada, etc). Projeto ruim e má execução fazem crescer os custos de conservação.

Higiene: É a quarta condição técnica a ser atendida. O concreto, os outros materiais, assim como as edificações, devem **dar conforto** (isolamento térmico e acústico) além de **proteger a saúde** dos usuários. Um bom concreto não pode ter agregados radioativos, por exemplo.

Fabricação: A qualidade está ligada tanto à tecnologia de fabricação dos materiais quanto ao esmero no projeto e na execução das obras. A estética também depende da fabricação dos materiais ou execução das edificações. No concreto, importa a qualidade de cada componente, a dosagem correta e o mínimo de falhas nas operações de produção e de cura.

Transporte: Também é uma condição econômica a que devem satisfazer os materiais empregados. Os custos de transporte (interno e externo) devem ser compatíveis com as condições gerais de execução dos projetos; e gerando **mínimo custo**.

Aplicação: Os custos de aplicação dos diversos materiais ou sistemas construtivos devem também ser compatíveis com o nível esperado no projeto. (qualidade geral dos componentes, traço adequado, equipe de execução bem treinada, cura adequada, etc.)

Conservação: Os custos de conservação ou manutenção das estruturas de concreto, além de uma característica intrínseca dos materiais componentes dependem muito da boa execução. As **falhas** de projeto e de execução conduzem a **custos mais altos de conservação**.

Cor: a cor é realmente importante nos materiais visíveis numa construção; assim, ela será mais importante nos concretos aparentes, onde qualquer falta de homogeneidade seria prontamente denunciada. (Ainda, a deterioração do colorido quase sempre denota perda de durabilidade).

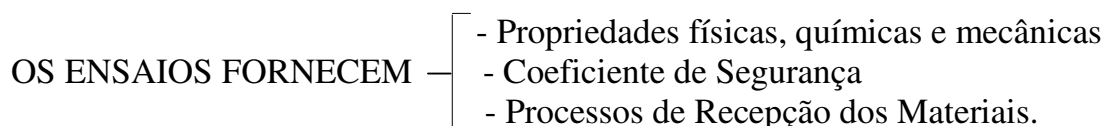
Aspecto: pela textura da peça de concreto (aspecto visual), dá para sentir o nível de qualidade do mesmo (se possui baixa porosidade, teor adequado de argamassa, homogeneidade, não oxidação, etc.). Aqui, maiores cuidados serão exigidos nas estruturas em que o concreto for aparente, sem revestimento.

Plástica: Uma estrutura projetada com harmonia de dimensões causa impacto visual agradável ao observador. Nesse caso, o concreto dependerá mais da habilidade do engenheiro que projetou e calculou a estrutura.

3) ENSAIOS DE MATERIAIS:



* **MAIOR EFICÁCIA:** as condições a que o material deve satisfazer podem ser reguladas ou modificadas intencionalmente, o que irá aumentar a velocidade das observações trazendo respostas mais rápidas.



Coeficiente de Segurança: “É necessário que o esforço imposto a um material seja inferior ao esforço limite que o mesmo pode suportar a fim de que haja margem para absorver aumentos de tensão ou de fadiga provenientes de carregamentos imprevistos, choques intempestivos, uso contínuo, oxidação, microfissuração, falta de homogeneidade, etc.

Recepção dos Materiais: São os processos rápidos e econômicos adotados para se conferir as qualidades previstas para cada material (série de ensaios de fácil execução).

3.1 - Classificação de ensaios de materiais

- ◆ Natureza do ensaio:
 - ◆ Gerais.
 - ◆ Especiais.
- ◆ Finalidade do ensaio:
 - Fabricação
 - ◆ manter e aperfeiçoar a qualidade do produto.
 - Recebimento
 - ◆ verificar se o produto atende às especificações.
- ◆ Tipo de ensaio:
 - Destrutivo; ou
 - Não destrutivo.

Marcas de conformidade



3.2 - Natureza dos ensaios

Gerais:

Físicos	Densidade		
	Porosidade		
	Permeabilidade		
	Aderência		
	Dilatação térmica		
	Condutibilidade térmica		
	Condutibilidade acústica		
	Dureza, etc.		
Mecânicos	Estáticos	Tração	
		Compressão	
		Flexão	
		Torção	
		Cisalhamento	
		Desgaste	
	Dinâmicos	Tração	
		Compressão	
		Flexão	
	De fadiga	Tração	Combinados
		Compressão	
		Flexão	
Químicos	Composição química		Qualitativa
			Quantitativa
	Resistência ao ataque de agentes agressivos		

Especiais:

Petrográficos	Composição mineralógica		
	Classificação petrográfica		
	Estado de conservação		
	Estrutura, granulação, textura, índices de enfraquecimento da estrutura, vazios, poros, fendas,		
	Elementos mineralógicos prejudiciais para a aplicação visada.		
Metalográficos	Macroscópicos		
	Microscópicos		
Tecnológicos	Dobramento		
	Maleabilidade		
	Forjabilidade		
	Fusibilidade		
	Soldabilidade		

3.3 - Marca de conformidade

- ◆ É o reconhecimento público da qualidade de um produto.
- ◆ Caracteriza-se por um símbolo estampado na embalagem do produto que garante que o mesmo atende à sua especificação.

4) MÉTODOS ESPECIFICAÇÕES E NORMAS - NORMALIZAÇÃO:

Os números fornecidos pelos ensaios são valores relativos. É grande o número de parâmetros que influenciam. Daí a necessidade da fixação de **métodos** que, reduzindo ao mínimo os fatores de variação, permitem uma comparação mais perfeita das características. A interpretação dos resultados exige a associação de diferentes ensaios.

Num ensaio de resistência mecânica, por exemplo, os seguintes fatores exercem considerável influência:

- **forma geométrica e dimensões dos corpos de prova;**
- **duração e marcha do ensaio;**
- **máquina de ensaio;**
- **condições outras do ensaio (temperatura, estado de umidade, etc)**

Para cada material, realizam-se séries completas de ensaios estipulados e, à vista da documentação assim obtida, a fixação numérica de limites e demais condições para essas características constituirá uma **especificação** para a **recepção do material**.

NORMALIZAÇÃO: **Objetivo da normalização**

Normalizar é padronizar atividades específicas e repetitivas. É uma maneira de organizar as atividades por meio da criação e utilização de regras ou normas.

A normalização técnica tem como objetivo contribuir nos seguintes aspectos:

- a) Qualidade; / b) Produtividade; / c) Tecnologia; / d) Marketing;
- e) Eliminação de barreiras técnicas e comerciais.

Conceitos

Normas Técnicas: documentos aprovados por uma instituição reconhecida, que prevê, para um uso comum e repetitivo, regras, diretrizes ou características para os produtos ou processos e métodos de produção conexos, cuja observância não é obrigatória, a não ser quando explicitadas em um instrumento do Poder Público (lei, decreto, portaria, normativa, etc.) ou quando citadas em contratos.

Normas Regulamentadoras (NR): documentos aprovados por órgãos governamentais em que se estabelecem as características de um produto ou dos processos e métodos de produção com eles relacionados, com inclusão das disposições administrativas aplicáveis e cuja observância é obrigatória.

Os níveis de normalização são estabelecidos pela abrangência das normas em relação às áreas geográficas. A abrangência aumenta da base para o topo da pirâmide.

Níveis de normalização

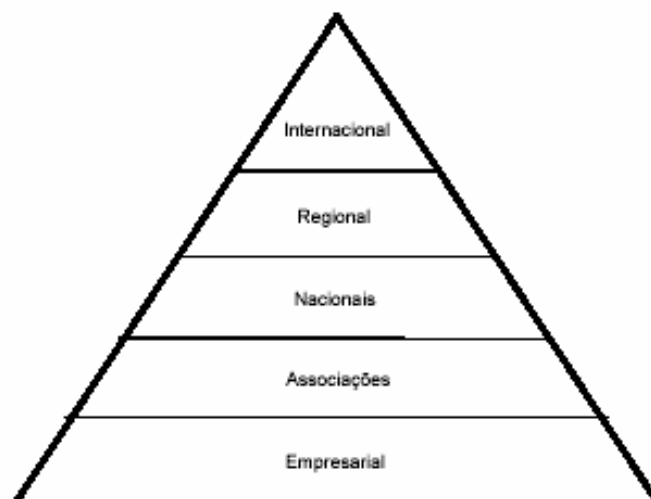


Figura 1 – Pirâmide de abrangência da normalização

Normas nacionais, do Mercosul e internacionais

Normas Empresariais – são as normas elaboradas e aprovadas visando à padronização de serviços em uma empresa ou em um grupo de empresas;

Normas de Associação – são as normas elaboradas e publicadas por uma associação representante de um determinado setor, a fim de estabelecer parâmetros a serem seguidos por todas as empresas a ela associadas. São as normas editadas por uma organização nacional de normas.

Normas nacionais

No Brasil, as normas brasileiras são os documentos elaborados segundo procedimentos definidos pela ABNT (Associação Brasileira de Normas Técnicas).

O CNN (Comitê Nacional de Normalização) define a ABNT como Foro Nacional de Normalização, entidade privada, sem fins lucrativos, à qual compete coordenar, orientar e supervisionar o processo de elaboração de normas brasileiras, bem como elaborar, editar e registrar as referidas normas (NBR). As normas brasileiras são identificadas pela ABNT com a sigla NBR número/ano e são reconhecidas em todo o território nacional.

Normas regionais

São estabelecidas por um organismo regional de normalização, para aplicação em um conjunto de países. São normas regionais:

Normas do Mercosul – desenvolvidas pela AMN (Associação Mercosul de Normalização), elaboradas através dos CSM (Comitês Setoriais Mercosul).

Normas COPANT (Comissão Pan-Americana de Normas Técnicas) – elaboradas nos seus comitês técnicos, por meio dos ABNT/CB.

Normas internacionais

São normas técnicas estabelecidas por um organismo internacional de normalização, resultantes da cooperação e de acordos entre grande número de nações independentes, com interesses comuns.

Normas ISO

São aquelas elaboradas e editadas pela Organização Internacional de Padronização (**I**nternacional **O**rganization for **S**tandardization).

Fazem parte da ISO institutos de normalização nacionais de mais de cem países do mundo, entre eles o Brasil, representado pela ABNT.

Série de normas ISO 9000

A série ISO 9000 é formada pelas seguintes normas:

NBR ISO 9000 – descreve os fundamentos de sistemas de gestão da qualidade e estabelece a terminologia para esses sistemas;

NBR ISO 9001 – especifica requisitos para um sistema de gestão da qualidade;

NBR ISO 9004 – fornece diretrizes que consideram tanto a eficácia, como a eficiência de sistemas de gestão da qualidade.

Série de normas ISO 14000

Além da ISO 9000, existe a série ISO 14000, voltada para o meio ambiente.

Essa norma é de grande importância no momento em que a humanidade passa por alterações climáticas devido ao descaso para com os aspectos ambientais. A série 14000 é formada por três normas:

NBR ISO 14000 – descreve os fundamentos de sistemas de gestão ambiental e estabelece a terminologia para esses sistemas;

NBR ISO 14001 – especifica requisitos para um sistema de gestão ambiental;

NBR ISO 14004 – fornece diretrizes que consideram tanto a eficácia, como a eficiência de sistemas de gestão ambiental.

NORMALIZAÇÃO BRASILEIRA NA CONSTRUÇÃO CIVIL

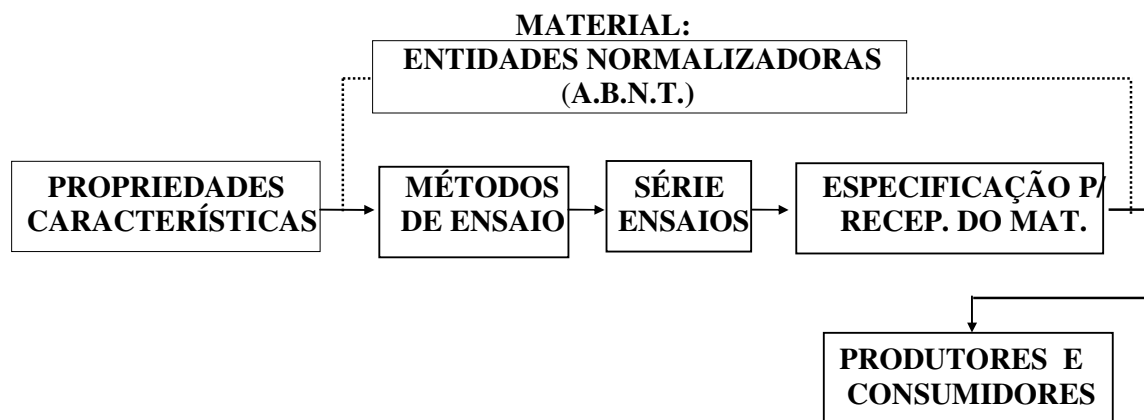
CB-02 - elaboração das normas técnicas de componentes, elementos, produtos ou serviços utilizados na construção civil (planejamento, projeto, execução, métodos de ensaio, armazenamento, transporte, operação, uso e manutenção e necessidades do usuário, subdivididas setorialmente);

CB-18 - normalização no setor de cimento, concreto e agregados, compreendendo dosagem de concreto, pastas e argamassas; aditivos, adesivos, águas e elastômeros (terminologia, requisitos, métodos de ensaio e generalidades).

Responsabilidade profissional do engenheiro em relação às normas

As normas têm uma função orientadora e purificadora no mercado. São recomendações, com base na melhor técnica disponível e certificada num determinado momento, para se atingir um resultado satisfatório.

As normas valem como padrões mínimos de referência.



a) Finalidades da Normalização:

As Normas Técnicas são elaboradas para regulamentar a QUALIDADE, a CLASSIFICAÇÃO, a PRODUÇÃO e o EMPREGO dos diversos materiais.

b) Entidades Normalizadoras:

PAÍS	ENTIDADE	COORDENADORA MUNDIAL	OUTRAS
BRASIL	ABNT	ISO	
USA	ASTM		COPANT
USA	ASA		ABCP
ALEMANHA	DIN		ACI
FRANÇA	AFNOR		RILEM
JAPÃO	JIS		CEB
INGLATERRA	BSI		PCA

c) Vigência:

As COMISSÕES TÉCNICAS da ABNT promovem revisão no elenco de normas sob sua responsabilidade a cada período de 5 (cinco) anos, podendo ou não alterar o texto da mesma em vigor.

d) Tipos de Normas:

A ABNT prepara os seguintes tipos de Normas. (qualquer delas é uma NT)

- NB - (Norma Brasileira)** - Condições e exigências para execução de obras
- EB - (Especificação Brasileira)** - Estabelecem prescrições para os materiais.
- MB - (Método Brasileiro)** - Ensaaios. Processos para formação e exame de amostras.
- PB - (Padronização Brasileira)** - Estabelecem dimensões para os materiais.
- TB - (Terminologia Brasileira)** - Reularizam a nomenclatura técnica.
- SB - (Simbologia Brasileira)** - Estabelecem convenções para desenhos.
- CB - (Classificação Brasileira)** - Dividem e ordenam materiais por propriedades características. Ex.: Concreto por grupos de resistência

Observações:

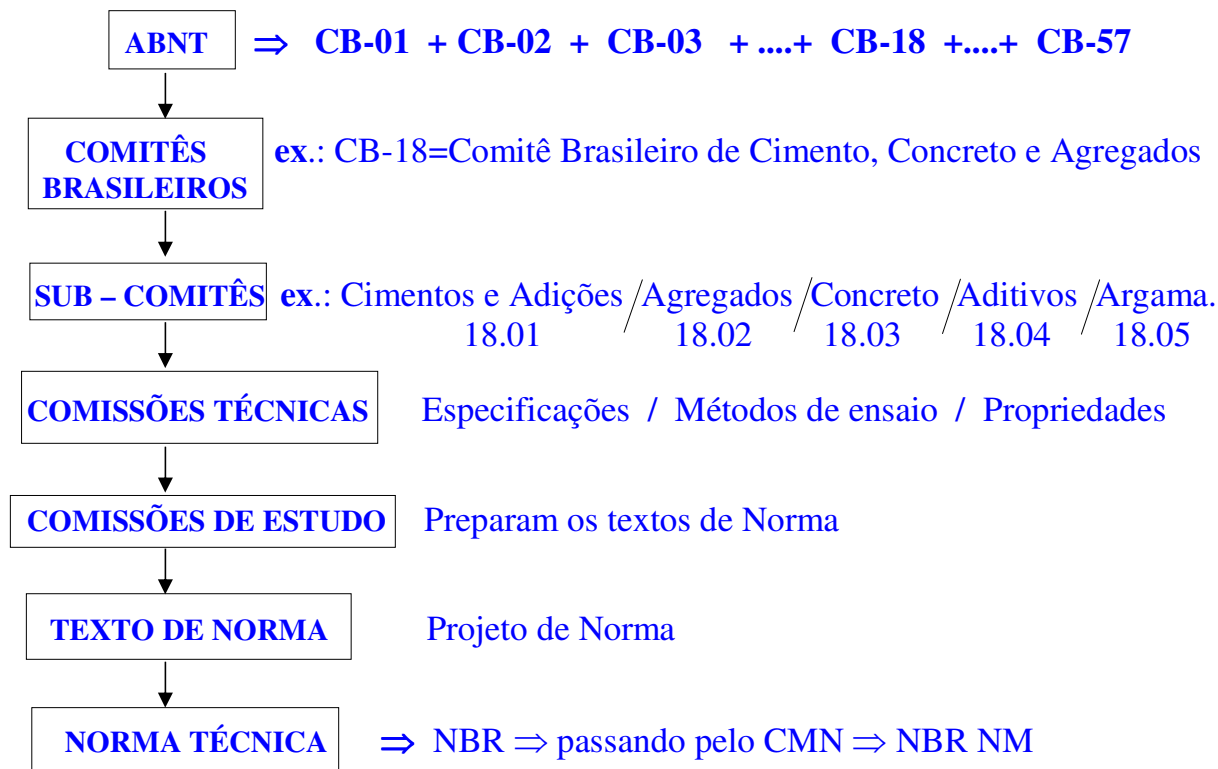
i) Para pesquisa no site da ABNT, deve-se usar as registradas com prefixo NBR

Exemplos: a **NB-1** é registrada sob o nº **NBR 6118**

o **MB-1** é registrado sob o nº **NBR 7215**

a **EB-1** é registrada sob o nº **NBR 5732**

ii) O nome Norma Técnica (NT) pode ser aplicado a qualquer dos tipos acima.

e) Encaminhamento de uma Norma:**ESTRUTURA DA ABNT:**

COMITÊS BRASILEIROS – em 08/2008

ABNT/CB-01 – MINERAÇÃO E METALURGIA *

ABNT/CB-02 – CONSTRUÇÃO CIVIL

ABNT/CB-03 – ELETRICIDADE

ABNT/CB-04 – MÁQUINAS E EQUIP. MECÂNICOS

ABNT/CB-05 – AUTOMOTIVO

ABNT/CB-06 – METROFERROVIÁRIO

ABNT/CB-07 – NAVIOS E TECNOLOGIA MARÍTIMA *

ABNT/CB-08 – AERONÁUTICA E ESPAÇO

ABNT/CB-09 – GASES COMBUSTÍVEIS

ABNT/CB-10 – QUÍMICA

ABNT/CB-11 – COURO E CALÇADOS

ABNT/CB-12 – AGRICULTURA E PECUÁRIA *

ABNT/CB-13 – BEBIDAS

ABNT/CB-14 – INFORMAÇÃO E DOCUMENTAÇÃO

ABNT/CB-15 – MOBILIÁRIO

ABNT/CB-16 – TRANSPORTES E TRÁFEGO

ABNT/CB-17 – TÊXTEIS E DO VESTUÁRIO

ABNT/CB-18 – CIMENTO, CONCRETO E AGREGADO

ABNT/CB-19 – REFRAATÓRIOS *

ABNT/CB-20 – ENERGIA NUCLEAR
 ABNT/CB-21 – COMPUTADORES E PROC. DE DADOS
 ABNT/CB-22 – IMPERMEABILIZAÇÃO
 ABNT/CB-23 – EMBALAGEM E ACONDICIONAMENTO
 ABNT/CB-24 – SEGURANÇA CONTRA INCÊNDIO
 ABNT/CB-25 – QUALIDADE
 ABNT/CB-26 – ODONTO-MÉDICO-HOSPITALAR
 ABNT/CB-28 – SIDERURGIA
 ABNT/CB-29 – CELULOSE E PAPEL
 ABNT/CB-30 – TECNOLOGIA ALIMENTAR *
 ABNT/CB-31 – MADEIRA
 ABNT/CB-32 – EQUIP. DE PROTEÇÃO INDIVIDUAL
 ABNT/CB-33 – JOALHERIA, GEMAS, MET. PREC. E BIJOU.
 ABNT/CB-35 – ALUMÍNIO
 ABNT/CB-36 – ANÁLISES CLÍNICAS
 ABNT/CB-37 – VIDROS PLANOS
 ABNT/CB-38 – GESTÃO AMBIENTAL
 ABNT/CB-39 – IMPLEMENTOS RODOVIÁRIOS
 ABNT/CB-40 – ACESSIBILIDADE
 ABNT/CB-41 – MINÉRIOS DE FERRO
 ABNT/CB-42 – SOLDAGEM
 ABNT/CB-43 – CORROSÃO
 ABNT/CB-44 – COBRE
 ABNT/CB-45 – PNEUS E AROS
 ABNT/CB-46 – ÁREAS LIMPAS E CONTROLADAS
 ABNT/CB-47 – AMIANTO CRISOTILA *
 ABNT/CB-48 – MÁQUINAS RODOVIÁRIAS
 ABNT/CB-49 – ÓPTICA E INSTRUMENTOS ÓPTICOS
 ABNT/CB-50 – MAT, EQUIP. E ESTRUT. *OFFSHORE* PARA IND.DO PETRÓLEO E GÁS NAT.
 ABNT/CB-52 – CAFÉ
 ABNT/CB-53 – NORMALIZAÇÃO EM METROLOGIA
 ABNT/CB-54 – TURISMO
 ABNT/CB-55 – REFRIGERAÇÃO, AR-CONDICIONADO, VENTILAÇÃO E AQUECIMENTO
 ABNT/CB-56 – CARNE E DO LEITE
 ABNT/CB-57 – HIGIENE PESSOAL, PERFUMARIA E COSMÉTICOS
 ABNT/CB-59 – FUNDIÇÃO
 ABNT/CB-60 – FERRAMENTAS MANUAIS E DE USINAGEM

* Comitês em Recesso

ORGANISMOS DE NORMALIZAÇÃO SETORIAL (ONS)

ABNT/ONS-27 – TECNOLOGIA GRÁFICA
 ABNT/ONS-34 – PETRÓLEO
 ABNT/ONS-51 – EMBALAGEM E ACONDICIONAMENTO PLÁSTICOS
 ABNT/ONS-58 – ENSAIOS NÃO-DESTRUTIVOS

5) ESPECIFICAÇÕES TÉCNICAS

Além de plantas, desenhos e cálculos, um Projeto de Engenharia tem partes de redação sob a forma de **memorial descritivo** e de **especificações técnicas**.

Memorial Descritivo: dá a descrição e indicação dos materiais a serem empregados. **Dirigido a elementos não técnicos** para melhor compreensão do projeto, inclusive de toda a obra, quando concluída.

Especificações técnicas: indicação minuciosa das propriedades mínimas que os materiais devem apresentar e a técnica a ser empregada na construção. **Destinam-se ao construtor** visando assegurar que a obra seja realizada com os cuidados apontados no projeto.

áspera - boa aderência

angulosa - superfície de separação mais resistente

c) Homogeneidade: Mantém as propriedades (qualidade). Pedra sem defeitos dá som claro e a defeituosa dá som surdo. Ao choque do martelo a rocha homogênea se parte em pedaços, e não em grãos.

d) Massa específica aparente: É a massa da unidade de volume da rocha seca, incluindo-se os vazios internos.

e) Porosidade: V_v / V_t . É o complemento da compacidade ($p + c = 1$)
Uma pedra porosa é: pouco resistente, permeável e gelível.
A porosidade está ligada à durabilidade.

f) Permeabilidade: Refere-se à existência de poros, nos quais a água pode infiltrar-se, por capilaridade ou pressão. Importante quando há tendência à grande umidade.

g) Higroscopicidade: absorção por capilaridade

h) Gelividade: pressão vencida pelo gelo: 146 kgf/cm²; depende da porosidade e friabilidade do material.

i) Condutibilidade térmica e elétrica: Condutibilidade pequena. As porosas são mais isolantes. Atenção para a dilatação térmica, a superfície sofre mais que o interior.

j) Dureza: Maior ou menor facilidade de se deixar serrar.

k) Aderência: É devida à ação química pedra-aglomerante e ação mecânica.
Fratura e porosidade influem na aderência. É avaliada pelo ensaio de tração.

Propriedades Mecânicas:

1º - Compressão, tração, flexão e cisalhamento:

As pedras resistem bem à compressão e mal à tração. Nas estratificadas, a resistência mecânica varia com a orientação. A umidade tem influência na resistência, que varia na razão inversa da umidade. Não seguem a lei de Hooke (As deformações crescem menos rapidamente que as tensões).

A resistência a compressão dá idéia das outras propriedades mecânicas.

A resistência ao cisalhamento - 1/10 a 1/15 da resistência à compressão.

A resistência à tração é 1/20 a 1/40 da resistência à compressão.

A resistência à flexão é de 1/10 a 1/15 da resistência à compressão.

O formato do corpo de prova influencia a resistência à compressão.

2º - Desgaste: Há dois tipos de ensaios de desgaste:

- resistência à abrasão - disco horizontal que gira com abrasivo (areia ou córindon).
- desgaste recíproco por atrito em aparelhos especiais. Ex.: Los Angeles.

3º - Choque: Seu estudo não oferece maior influência. Há normas DIN ou ASTM.

3 - Escolha da Pedra:

Para segurança e economia exige-se o conhecimento das características técnicas e econômicas das pedras disponíveis. A qualificação do material é obtida por meio de um estudo petrográfico de amostras representativas, seguido do exame tecnológico em corpos de prova normalizados. **(depende de utilização prevista).**

Para agregados de concreto, é necessário verificar também o potencial reativo do mineral com os álcalis (Na_2O e K_2O) do cimento.

4 - Aplicações:

- 1 - Alvenarias e Cantarias
- 2 - Pavimentação (de estradas, ruas, pátios, etc)
- 3 - Revestimentos (de piso, paredes, etc)
- 4 - Acabamentos (banheiros, cozinhas, pias, etc)

5 - Informações Complementares:

Descrição resumida dos minerais mais importantes, por serem os mais comuns na composição mineralógica das principais pedras de construção:

1 - Quartzo: Sílica (SiO_2) livre ou constituindo silicatos com óxidos básicos. O quartzo é sílica cristalina. Massa específica 2,65 e dureza 7. Possui alta resistência à compressão e grande resistência à abrasão. Aquecido a 870°C transforma-se em tridimita com considerável aumento de volume. Na temperatura de 1.710°C funde; resfriado rapidamente dá origem ao quartzo vítreo (sílica amorfa) de massa específica 2,3. A sílica amorfa ocorre na natureza sob a forma de sílica hidratada, $\text{SiO}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ (opalina), que é muito reativa com os álcalis do cimento, por exemplo.

2 - Alumino-Silicatos: Depois da sílica, é a alumina ou óxido de alumínio (Al_2O_3) o mais abundante constituinte da crosta terrestre. Na natureza a alumina ocorre sob a forma de córindon, mineral duro, dureza 9 na escala de Mohs, de grande emprego como abrasivo.

a) Feldspato: silicato de alumínio que forma 50% em peso da litosfera.

Tipos de feldspato:

ortoclásio: $\text{K}_2\text{O} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 6\text{SiO}_2$ ou feldspato comum de potássio

plagioclásio: $\text{Na}_2\text{O} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 6\text{SiO}_2$ - albita ou $\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 6\text{SiO}_2$ - anortita. Coloração variável, massa específica 2,55 a 2,76, dureza 6. Ponto de fusão: 1.170 a 1.550°C sendo usado como fundente na produção de louça cerâmica.

b) Micas: São silicatos de alumínio de variada e complexa composição química. Principal característica: fácil clivagem em lâminas finas, flexíveis e elásticas.

Micas que ocorrem frequentemente:

Muscovita mica de potássio, leve, transparente, infusível e quimicamente estável.

Biotita: mica de ferro de Mg; composição variada, escura, cinza ou preta, menos durável que a anterior.

Caulinita: silicato de alumínio hidratado ($\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$). Ocorre como terra frouxa branca ou colorida, ou sob a forma de lâminas, é o principal componente das argilas.

3 - Silicatos de Magnésio e Ferro:

São minerais preto-escuros. Massa específica bastante maior do que dos demais silicatos. Quando em grande quantidade, esses minerais conferem às pedras uma coloração escura e grande resistência ao impacto.

Anfibólios : incluem a hornblenda de massa específica 3,1 a 3,5 que é encontrada nas rochas vulcânicas.

Piroxênios: têm a augita como mineral mais encontrado, com massa específica 3,2 a 3,6.

Olivinas: minerais esverdeados, caracterizados pela baixa estabilidade: são alterados pelos mais diversos reagentes (água, gás oxigênio, gás carbônico). Quando alterados pela água aumentam de volume e transformam-se na serpentina em que uma das variedades apresenta estrutura fibrosa, utilizada na produção de materiais isolantes térmicos (amianto).

4 - Carbonatos e Sulfatos:

Encontrados principalmente em rochas sedimentares.

- a) **Calcita:** carbonato de cálcio cristalino (CaCO_3), mineral muito abundante. Massa específica 2,7 e dureza 3. Quando tratado por uma solução de HCl a 10%, apresenta violento desprendimento de CO_2 .
- b) **Magnesita:** características semelhantes à calcita, emprega-se como material refratário para revestimento de fornos.
- c) **Dolomita:** ($\text{CaCO}_3 \cdot \text{MgCO}_3$). Propriedades idênticas às da calcita. É porém mais dura, mais resistente e menos solúvel na água.
- d) **Gipsita:** mineral sedimentar ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$), tem estrutura cristalina, algumas vezes, finamente granulada. Apresenta-se com cor branca quando puro. Massa específica 2,3 e dureza 1,5. O gesso, comparativamente, dissolve-se bem na água, 75 vezes mais do que a calcita (0,03g/l).
- e) **Anidrita:** (CaSO_4) Massa específica 2,8 a 3,0 e dureza 3 a 3,5. Transforma-se por hidratação em gesso.

AGLOMERANTES EM GERAL

Definições:

Aglomerantes são produtos empregados na construção civil para fixar ou aglomerar materiais entre si. **Constituem o elemento ativo que entra na composição das pastas, argamassas e concretos.** São geralmente materiais pulverulentos que, misturados intimamente com água, formam uma pasta capaz de endurecer por simples secagem, ou então, o que é mais geral, em virtude de reações químicas.

Quadro Geral de Aglomerantes :

Quadro Geral de Aglomerantes:

Tipo	PRODUTOS		compostos		Processo de Endurecimento	Elasticidade	Ação da água	Ação de ácidos	Ação de álcalis	Uso	
			Principais	SECUNDÁRIOS							
Termoplásticos	Cimento Asfáltico		Hidrocarb pesados		Resfriamento	Plástico	-	-	-	concretos Asfálticos	
	Asfaltos Líquidos		Hidrocarb pesados	ÓLEOS LEVES GASOLINA	Evaporação do solvente	Plástico	-	-	-	“	
	Emulsões Asfálticas				Evaporação do solvente	Plástico	-	-	-	“	
	Enxofres		S	-	Resfriamento	Rígido	-	-	Ataca	Cimentos resistentes a ácidos	
Reativos	Aéreos	Cal hidrat.	Gorda	CaO MgO	-	Ação do CO2 do ar	Rígido	Dissolve lentamente	Ataca	Ataca	Revest. e Alvenarias
			Magra	CaO MgO	IMPUREZAS	Ação do CO2 do ar	Rígido	Resiste a ação das chuvas	Ataca	-	Revest. e Alvenarias
		Gesso		CaSO ₄	-	Hidratação	Rígido	Dissolve, inclusive na chuva	-	Ataca	Revestimentos
		Keene		CaSO ₄	-	Hidratação	Rígido	Dissolve, inclusive na chuva	-	Ataca	Revestimentos
		Saree		MgO	MgCl ₂	Ação química	Rígido	Dissolve, inclusive na chuva	-	-	Pisos e pré-fabricação
	Hidráulicos	Cal Pozolânica		Ca(OH) ₂	POZOLAN A	Ação química	Rígido	-	Ataca	-	-
		Cal Metalúrgica		Ca(OH) ₂	ESCÓRIA METALÚRGICA	Ação química	Rígido	-	Ataca	-	Alvenarias
		Cal Hidráulica		CaO	ARGILAS	Hidratação + CO2	Rígido	-	Ataca	-	Alvenarias
		Cimentos Portland		CaO	ARGILAS	Hidratação	Rígido	-	Ataca	-	Estruturas Revestimentos
	Químicos	Furan		Furan	-	Ação química	Plástica	-	Ataca	-	Revestimentos
		Fenólico		Fenol	-	Ação química	Plástica	-	Ataca	-	Revestimentos
		Epóxico		Poliésteres Fenólicos	-	Ação química	Plástica	-	Ataca	-	Revestimentos

(Bauer) Materiais de Construção – Vol. I

(Bauer) Materiais de Construção – Vol. I

AGLOMERANTES MINERAIS

Como foi visto no quadro geral, muitos são os materiais que tem propriedades aglomerantes, porém para uso na construção civil é essencial que as matérias primas para sua obtenção sejam abundantes na natureza e se encontrem em condições de aproveitamento econômico.

Como medida de **economia** e também para atenuar a influência nociva da **retração**, é geralmente necessário adicionar-se à pasta um elemento inerte chamado “agregado”.

O agregado é um material granuloso e inerte, convenientemente graduado, que entra na composição das argamassas e concretos.

Conforme veremos posteriormente, o agregado classifica-se em:

Agregado miúdo: de diâmetro máximo igual ou inferior a 4,8mm. (areia natural e areia artificial).

Agregado graúdo - de diâmetro máximo superior a 4,8mm (pedra britada, seixo, etc).

Adicionando-se à pasta um agregado miúdo ter-se-à uma argamassa. Se se adicionar, entretanto, à pasta uma mistura de agregado miúdo e agregado graúdo ter-se-à um concreto.

Assim sendo podemos definir:

Pasta: mistura íntima de um aglomerante e água

Argamassa: mistura íntima de um aglomerante, um agregado miúdo e água.

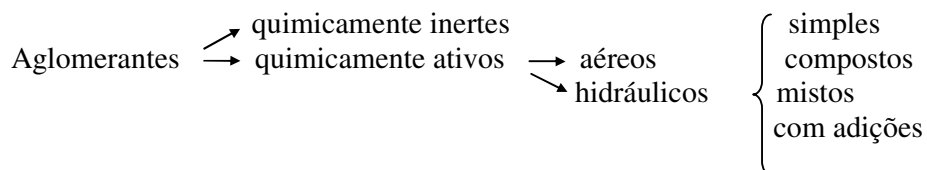
Concreto: mistura íntima de um aglomerante, um agregado miúdo, um agregado graúdo e água. (eventualmente acompanhados de algum aditivo).

O endurecimento das argamassas e dos concretos decorre do endurecimento da pasta, visto que, a pasta endurecida adere também aos materiais com os quais tenha sido posta em contato; permitindo assim a execução das alvenarias, revestimentos, concreto armado, estabilização de solos, etc.

Os aglomerantes são classificados em quimicamente inertes e quimicamente ativos. Aglomerantes quimicamente inertes: endurecem por simples secagem, como a argila.

Aglomerantes quimicamente ativos: endurecem por reações químicas.

Os aglomerantes quimicamente ativos, como as cales, gessos e cimentos, cujo endurecimento nas condições normais de temperatura e pressão é decorrente de uma reação química, apresentam maior interesse e têm grande campo de aplicação, pois são capazes de atingir altas resistências físico-mecânicas e de se manterem estáveis nessa condição por longo tempo.



Os aglomerantes aéreos devem ser empregados somente ao ar, pois não resistem satisfatoriamente quando imersos n'água, mesmo depois de endurecidos. Além disso, o seu endurecimento depende da secagem para ganho e manutenção da resistência.

Neste grupo tem-se: cales aéreas, gessos, magnésia sored.

Os aglomerantes hidráulicos resistem satisfatoriamente quando empregados dentro d'água, e além disso, o seu endurecimento processa-se sob influência exclusiva da água. (o endurecimento pode se efetivar independentemente da exposição ao ar, ou seja, não dependem da secagem).

Exemplos: cimentos naturais ou artificiais e cales hidráulicas.

Aglomerantes simples - constituídos de um único produto sem mistura posterior ao cozimento, a não ser de pequenas %s admitidas em suas especificações de substâncias destinadas a regularizar a pega, facilitar a moagem ou ativar a progressão do endurecimento.

São considerados aglomerantes simples os aéreos acima referidos e os hidráulicos (cal hidráulica, cimento natural, cimento portland ou artificial e o cimento aluminoso).

Aglomerantes Compostos - são constituídos pela mistura de sub-produtos industriais, ou produtos naturais de baixo custo (escória de alto-forno ou pozolana) com um aglomerante simples, geralmente cal ou portland. É comum adotar-se o termo Hidraulite para englobar as pozolanas e a escória de alto-forno. São aglomerantes compostos: cimentos pozolânicos e cimentos metalúrgicos.

Aglomerantes Mistos - são constituídos pela mistura de dois aglomerantes simples.
(não empregados no Brasil).

Aglomerantes com adição - é o aglomerante simples ao qual foram feitas adições que excedem os limites estabelecidos em suas especificações para dar-lhes propriedades especiais como diminuir a permeabilidade, reduzir o calor de hidratação, diminuir a retração, aumentar a resistência a agentes agressivos, dar coloração especial, etc.

FASE DE PEGA DOS AGLOMERANTES

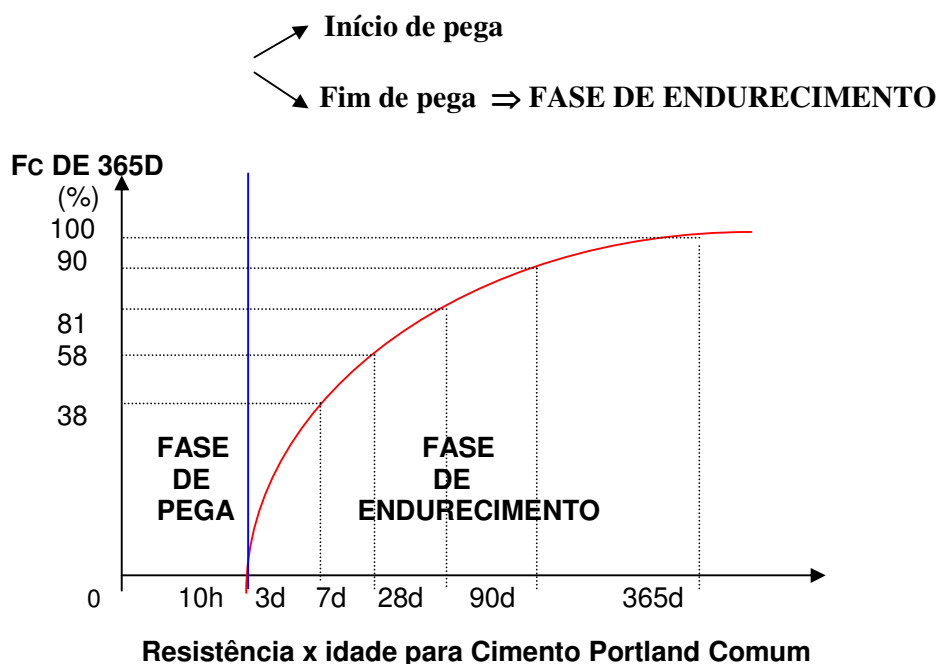
Denomina-se **pega** ao período inicial de solidificação da pasta, designando-se por **início de pega** o momento em que a pasta começa a endurecer perdendo a sua plasticidade.

Por **fim de pega** entende-se o momento em que a pasta se solidifica completamente, perdendo portanto toda a sua plasticidade. (a agulha de Vicat não penetra mais na pasta já enrijecida)

O fim da pega não significa que a pasta tenha adquirido toda a sua resistência, pois terminada a **fase de pega** inicia-se a **fase de endurecimento** que pode durar anos, se as condições de conservação forem favoráveis.

Para o cimento portland o fim de pega ocorre de 4 a 6 horas após o contato com a água (pasta de consistência normal). O endurecimento prossegue da seguinte forma: (valores médios):

FASE DE PEGA



Os aglomerantes classificam-se segundo o tempo de início de pega em:

- Pega rápida < 30 minutos
- Pega semi-rápida 30 a 60 minutos
- Pega normal 60 minutos a 6 horas

GESSO

1. Identificação

A norma DIN 1168 define **gesso de construção** como **todo gesso cozido que convém para trabalhos de construção**.

É obtido por eliminação parcial ou total da água de cristalização contida no minério natural chamado gipso (sulfato de cálcio dihidratado).

A variedade de gipso com maior importância econômica é a gipsita, geralmente encontrada sob a forma de material compacto, de granulação fina a média. Outras variedades do gipso são o alabastro, a selenita e o espato cetim. Existe também a anidrita que é um sulfato de cálcio natural sem água de cristalização.

Gipsita: é a forma mineral do sulfato de cálcio dihidratado, $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ apresentando uma massa específica de $2,32 \text{ g/cm}^3$, dureza 1,5 a 2 na escala Mohs. Quando puro tem 46,5% de SO_3 , 32,6% de CaO e 20,3% de água. Em sua forma mais pura, o gipso é branco e ocorre em camadas estratificadas de origem marinha. A maioria dos depósitos de gipso ocorre junto aos do mineral anidrita, sugerindo uma possível transformação de uma forma para a outra após a deposição.

Alabastro: é uma das formas de ocorrência do mineral gipso (rocha que possui 60 a 90% de gipsita misturada com argila, areia e húmus); normalmente translúcido apresentando diversas cores devido a efeitos ópticos ou a impurezas. O alabastro sendo relativamente mole pode ser trabalhado com facas, serras e pode ser conformado com papéis abrasivos e posteriormente polidos. É conhecido como material para a fabricação de vasos, bacias, pedra ornamental em estatuária, decoração interior e ornamentos.

Selenita: é uma forma pura de gipso, cristalizada na forma de folhas ou placas que apresentam um plano de cristalização (monoclínico). Os cristais de selenita apresentam boa transparência e placas finas que polarizam a luz e são usadas em equipamentos de laboratório com este objetivo. A selenita não tem o retorno elástico da mica, e quando deformado, assim permanece.

Espato Cetim: é uma forma fibrosa do gipso (cristais monoclínicos). Assemelha-se algumas vezes às fibras de amianto e, em crescimentos densos, o espato cetim é translúcido e pode ser utilizado na fabricação de adornos e pequenos objetos de arte.

Anidrita: é um sulfato de cálcio natural sem água de cristalização, isto é, CaSO_4 , que tem uma massa específica de $2,95 \text{ g/cm}^3$, uma dureza de 3 a 3,5 na escala Mohs. Tem a mesma solubilidade em água que o gipso, mas não reage rapidamente para formar um hidrato. É mais usada na fabricação de sulfato de amônio, na produção de ácido sulfúrico e em argamassas especiais. Pode entrar também na fabricação do cimento portland, substituindo parcialmente o gipso.

2. Obtenção do gesso para construção:

A gipsita calcinada é bastante utilizada pela indústria da construção civil. Ao ser calcinada em temperatura adequada, ela perde parte da água de cristalização, obtendo-se o produto geralmente conhecido como gesso (hemihidrato).



O gesso, que encontra uso sob a forma de pasta para revestimentos e decorações interiores, placas lisas moldadas e gesso acartonado, é um aglomerante aéreo. A gipsita vem geralmente acompanhada de impurezas como sílica, alumina, carbonato de cálcio, óxido de magnésio, de ferro, num total não ultrapassando 6%.

3. Funcionamento como aglomerante:

As pedras cozidas de gesso são moídas e, preparada a pasta para utilização, verifica-se a reação oposta que provoca o endurecimento.



O gesso, $\text{CaSO}_4 \cdot 1/2\text{H}_2\text{O}$, ao ser misturado com água torna-se plástico, podendo então ser moldado na forma desejada, e enrijece rapidamente, recompondo o dihidrato original.

A hidratação e o conseqüente endurecimento se baseiam na diferença de solubilidade na água dos dois sulfatos (ver valores adiante).

4. Endurecimento do Gesso: (Mecanismo Dissolução-Precipitação)

A água dissolve o gesso ($\text{CaSO}_4 \cdot 1/2\text{H}_2\text{O}$), na base de 10g/l; reage com ele formando gipsita ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$). Esta, por ser menos solúvel (2g/l), faz a solução se tornar supersaturada. Há a precipitação do excedente em forma de cristais (malha imbricada que aglutina). Em seguida, a água fica com capacidade para dissolver mais gesso; forma-se mais gipsita, há nova precipitação, e esse ciclo se repete, continuamente, até processar todo o gesso presente.

No estado em que se encontra no mercado, o gesso é um pó branco de elevada finura, cuja massa unitária é de 0,70 (aproximadamente), diminuindo com o grau de finura. Sua massa específica fica em torno de 2,7 kg/dm³.

5. Aplicações

Na construção civil, o gesso é usado especialmente em revestimentos e decorações interiores. Pode ser utilizado simplesmente como pasta ou recebendo adição de cal para melhorar as qualidades plásticas da pasta.

O material não se presta, para aplicações exteriores por se deteriorar em conseqüência da sua solubilidade na água.

A principal aplicação do gesso nos países industrializados, e no Brasil isto já vem ocorrendo com grande expansão, é na produção de pré-fabricados, tais como bloquetes, chapas divisórias e de revestimento, incluindo a forma de gesso acartonado e o fibro-gesso. Além dessas aplicações, usa-se o gesso na confecção moldes para as indústrias metalúrgicas, de plásticos e cerâmica; em moldes artísticos, ortopédicos e dentários; como aglomerante do giz, na mineração de carvão para vedar lâmpadas e áreas onde há perigo de explosão de gases. Isolantes acústicos são obtidos pela adição de material poroso ao gesso.

5.1 Aplicação: Gesso acartonado

As chapas de grandes dimensões finas de gesso revestidas externamente por duas lâminas de papel, são denominadas comercialmente no Brasil de *dry wall*.

O papel kraft que reveste serve de reforço para os esforços de tração, o que permite o manuseio seguro de chapas de grandes dimensões e confere resistência a esforços de uso. Os produtos têm alta produtividade na montagem e permitem a execução de serviço com um baixo consumo de material.

Combinando papel e gesso, o produto é sensível a ambientes úmidos, podendo apresentar degradação total ou biodeterioração da superfície. Para aplicação em ambientes úmidos recebe tratamento com hidrofugante.

6. Patologias

6.1 Patologia por movimentação higrotérmica

Placas finas de gesso apresentam elevada movimentação higrotérmica, pois são permeáveis ao vapor de água e possuem baixa inércia térmica, entrando em equilíbrio com o ambiente muito antes do restante da estrutura do edifício. Com isso, a frequência e a amplitude da movimentação higrotérmica de paredes e forros de gesso são superiores às da estrutura do edifício.

Soluções:

- 1• Em forros de placas moldadas: total dessolidarização das paredes e a introdução de juntas periódicas.
- 2• Em gesso acartonado: fixação da estrutura de madeira ou metal e a existência de uma junta elástica entre placas.

6.2 Patologia no revestimento em gesso

- 1• A umidade é prejudicial ao gesso dada a solubilidade da gipsita. Pela ação de ciclos úmido-seco do ambiente, a gipsita da superfície se dissolve e precipita continuamente, mas os cristais apenas se depositam sobre a superfície e não têm o mesmo imbricamento da primeira formação. A superfície torna-se pulverulenta.
- 2• Os aditivos orgânicos empregados para controle da pega apresentam o inconveniente de alimentar o crescimento de fungos de difícil eliminação. Os aditivos minerais empregados em excesso podem ser trazidos para a superfície na evaporação da água de amassamento ou na secagem após a absorção de umidade e formar eflorescências.
- 3• O gesso de construção, particularmente quando exposto a umidades elevadas, provoca a corrosão do aço. Todos os componentes de aço em contato com o gesso devem ser protegidos contra a corrosão, através, por exemplo, de galvanização.
- 4• Artefatos ou revestimentos de gesso apresentam uma superfície muito lisa, quase polida, às vezes pulverulenta, o que não permite boa aderência de pinturas de emulsão. A película se forma, mas descola com facilidade (“*peeling*”). Necessitam, por isso, da aplicação de fundo preparador na superfície.

7. Informações complementares

7.1 - Sulfatos que podem compor o gesso de construção:

-
- sulfato de cálcio hemidratado ($\text{CaSO}_4 \cdot 1/2\text{H}_2\text{O}$, ou hemidrato- β);
(É a fase presente em maior teor).
-
- Anidrita I, de fórmula CaSO_4
(Fases de pega e endurecimento lentos, contribuindo para a dureza e tenacidade do produto final).
-
- anidrita insolúvel ou Anidrita II (de fórmula CaSO_4), formada acima de 250°C ;
(Anidrita supercalcínada; reage lentamente com a água, podendo levar sete dias para se hidratar completamente).
-
- gipsita: sulfato de cálcio di hidratado (de fórmula $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$)
Está presente no produto, por tempo de calcinação insuficiente ou por moagem grossa da matéria prima. Age como um acelerador de reação (acelerador de pega).
-
- aditivos retardadores do tempo de pega.
-

Nota: As propriedades do gesso dependem do teor relativo desses constituintes.

7.2 - Produção do gesso de construção

- 1• Extração do minério, realizada em geral a céu aberto.
- 2• Britagem e moagem grossa.
- 3• Estocagem com homogeneização.
- 4• Secagem da matéria prima pois a umidade pode chegar a 10%.
- 5• Calcinação, moagem fina e ensilagem.
- 6• A calcinação pode consistir de um único forno, cujo produto é o hemidrato puro ou contendo também gipsita ou anidrita, ou de dois fornos que produzem hemidrato e anidrita, em separado.
- 7• Moagem e seleção em frações granulométricas de acordo com a utilização: em construção (pré-fabricação, revestimentos) e moldagem (arte, indústria).
- 8• Etapa final (não praticada no País): mistura e homogeneização dos diferentes sulfatos e dos aditivos, em função da aplicação.

7.2.1 - Produção nacional

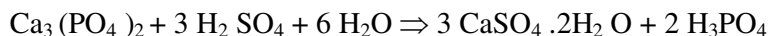
- A calcinação é feita em forno rotativo ou fornos tipo panela e marmitta
- O armazenamento em silos promove homogeneização e estabilização favorável à sua qualidade.
- A estabilização é hidratação da anidrita ao hemidrato; ela se dá após 12 horas de

armazenamento do produto em atmosfera de 80% de UR; uma fração dessa fase pode estar presente no gesso por ocasião do consumo.

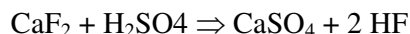
- Ensacado, deve ser protegido de umidade, pois o gesso hidrata-se com facilidade, regenerando o dihidrato que age como acelerador de pega.

7.3 - Matéria Prima

Além do gipso, o gesso pode ainda ser obtido como subproduto da indústria de fertilizantes (fosfogesso ou gesso químico) pela solubilização de rochas fosfáticas por ácidos clorídrico, nítrico ou sulfúrico. Conforme equação abaixo:

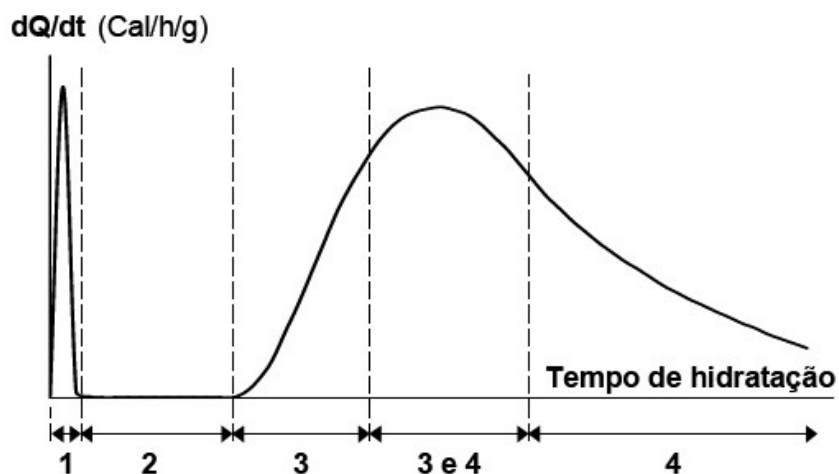


Ou também como subproduto da produção de ácido fluorídrico, segundo a equação de reação:



7.4 - Detalhamento do mecanismo de hidratação

Figura 1 – Microcalorimetria de um hemidrato (Magnan, 1973).



O mecanismo pode ser acompanhado pela curva do calor de hidratação:

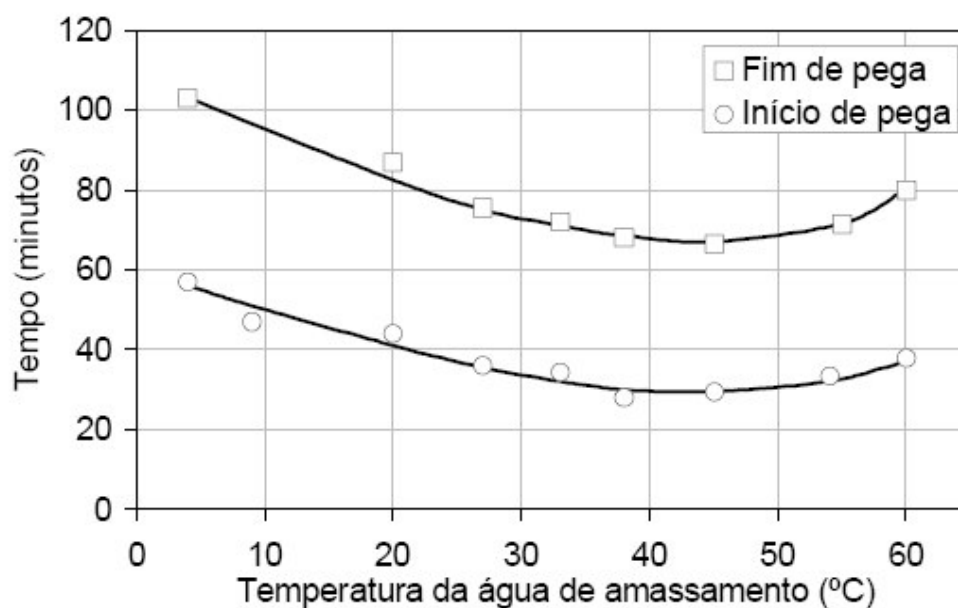
- **Etapa 1:** o primeiro pico ocorre durante 30 segundos e corresponde à molhagem do pó; iniciando-se imediatamente a dissolução dos sulfatos
- **Etapa 2:** é o período de indução afetado pelo tempo de mistura, temperatura da água de amassamento ou presença de impurezas ou aditivos.
- **Etapa 3:** início da pega. Ocorre um forte aumento da temperatura que indica o aumento da velocidade de reação. Com a saturação da solução a gipsita passa a precipitar em cristais aciculares, formando núcleos de cristalização. À medida que a hidratação evolui, a concentração de íons, assim como a formação de novos núcleos, diminui. A fixação progressiva da água de hidratação reduz a água disponível, aumentando simultaneamente o volume de sólidos. Os cristais começam a ficar próximos, a porosidade diminui, e a rigidez aumenta.
- **Etapa 4:** diminuição da velocidade de reação; depois de a curva passar por um máximo, a velocidade decresce progressivamente, observando-se o fim da hidratação. O crescimento dos cristais nessa etapa vai influenciar diretamente as propriedades mecânicas.

Início e fim de pega

- 1 - O consumo da água de amassamento pela formação da gipsita hidratada aumenta a consistência da pasta dando **início à pega**.
- 2 - Os cristais formados ao redor de núcleos ficam progressivamente mais próximos e se aglomeram, aumentando a viscosidade aparente da pasta.

- 3 - O prosseguimento da hidratação leva à formação de um sólido contínuo com porosidade progressivamente menor e resistência progressivamente maior (**fim de pega**).
- 4 - A pega e o endurecimento são afetados por diferentes fatores, principalmente: finura e forma dos grãos, relação a/g, temperatura da água, velocidade e tempo de mistura e aditivos.

7.5 - Influência da temperatura no início e fim de pega de pastas de gesso (Fig.5).



7.6 -Propriedades físicas do pó

1 – Granulometria:

Determinada em amostra seca, por peneiramento na série padrão de peneiras (0,840 mm, 0,420 mm, 0,210 mm, 0,105 mm), sob água corrente. A massa retida em cada peneira é determinada após secagem em estufa a 110°C.

2 - Densidade de massa aparente (massa unitária):

Determinada em recipiente com capacidade de (1.000 ± 20) cm³; recebe o gesso vertido através de um funil cônico, de 15 cm de altura, colocado sobre um tripé, contendo uma peneira de 2,0 mm de abertura, e ajustado na metade da altura do funil (Figura 6).

Fig. 6 - Funil utilizado para ensaio de densidade de massa aparente de gesso.

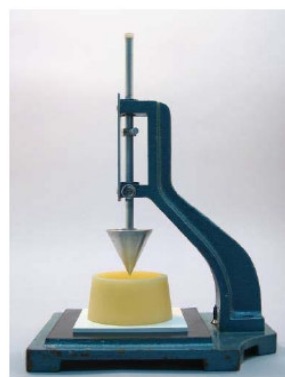


7.7 - Propriedades da pasta

7.7.1 - Consistência normal

Determinada com o aparelho de Vicat modificado (Figura 7): a haste está acoplada a uma sonda de alumínio cônica, pesando ambos 35 g; a sonda é protegida com uma ponteira de aço inox. A fim de evitar a pega rápida do gesso, adiciona-se citrato de sódio p.a. à água (20 g/l). A penetração da agulha deve ser de (30 ± 2) mm.

Aparelho de Vicat modificado - para determinação da consistência da pasta (NBR 12128).



7.7.2 Tempo de pega (NBR 12128):

É determinado com a pasta na consistência normal, sem o retardador, em aparelho de Vicat provido de haste de $(300 \pm 0,5)$ g e de agulha com diâmetro de $(1,13 \pm 0,02)$ mm. O início de pega é considerado quando a agulha estaciona a 1 mm da base, e o final, quando a agulha não mais penetra na pasta, deixando uma leve impressão.

O gesso misturado com a água começa a endurecer em razão da formação de uma malha imbricada de finos cristais de sulfato hidratado. Depois da pega, o gesso, tal como os outros materiais aglomerantes, continua a endurecer, ganhando resistência, num processo que pode durar semanas.

O tempo de pega para o gesso de paris é de 15 a 20 minutos.

A quantidade de água necessária para a hidratação é de 50 a 70%. A temperatura da água funciona diretamente como acelerador e sua quantidade como retardador

O gesso de paris, se totalmente puro, iniciaria a pega entre 2 e 5 minutos, tornando-o virtualmente inútil como material de construção, pois endurece antes que possa ser trabalhado. Mas, a presença de impurezas, que naturalmente ocorre na gipsita original, diminui muito a velocidade de endurecimento. Pode-se também influir no tempo de pega utilizando-se aditivos apropriados (ver adiante).

7.7.3 Influência da relação água/gesso (g/g) no tempo de pega pela agulha de Vicat.

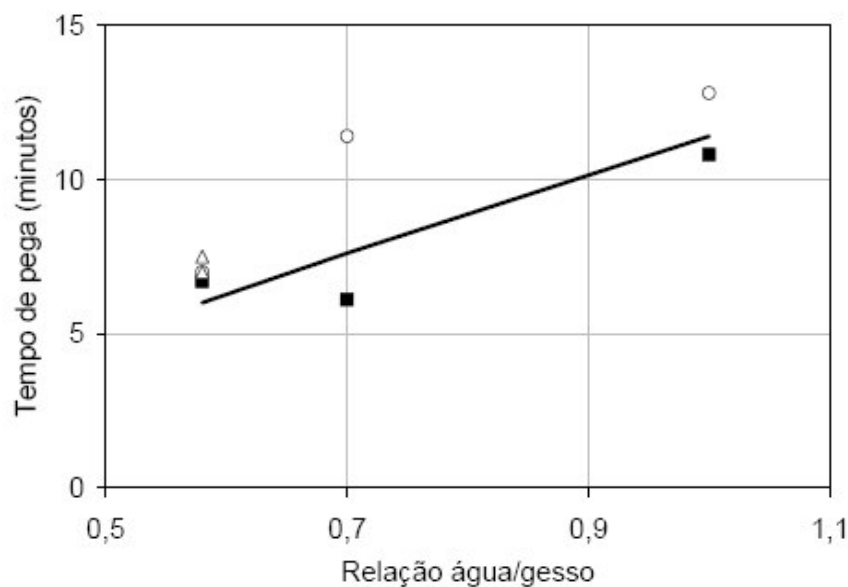
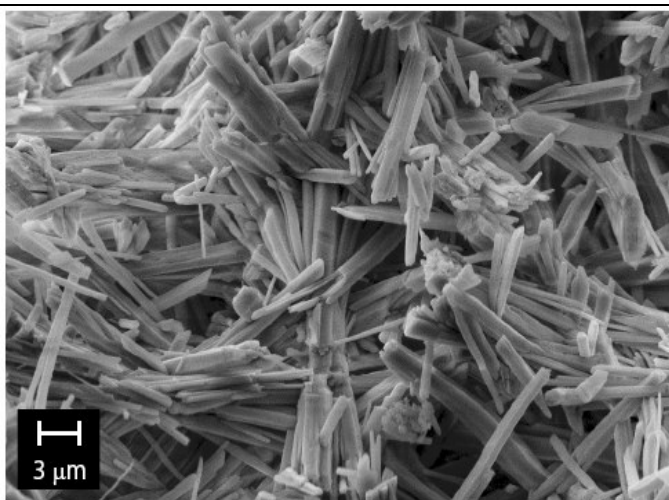


Fig. 11 – Imagem de elétrons secundários, de pasta de gesso (a/g 0,7), ilustrando a elevada porosidade e os aglomerados de cristais.



Livro: Materiais de Construção Civil
Organizador/Editor: Geraldo C. Isaia

7.8 - Propriedades mecânicas: Resistência à compressão

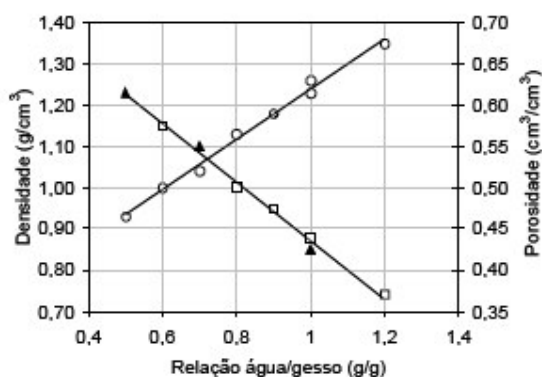


Figura 12 – Influência na relação água/gesso na densidade no estado seco e porosidade – correlações aproximadas para retas (produzido a partir de dados dos autores e de Les Cahiers Techniques, Syndicat, 1991).

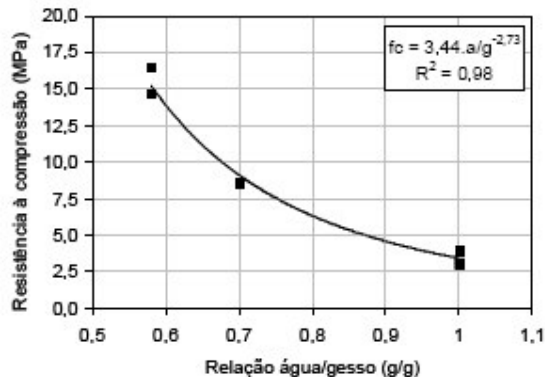


Figura 13 – Influência na relação água/gesso na resistência mecânica de corpos-de-prova 50 x 50 x 50 mm de um gesso brasileiro (dados dos autores).

7.9 Retardadores de pega

De modo geral estão agrupados em três categorias conforme o seu modo de atuação:

Espécies químicas que diminuem a velocidade de dissolução do hemidrato, por introduzirem outros íons na solução: retardam a saturação da solução: ácidos orgânicos fracos (ácidos cítrico, fórmico, acético, láctico, e seus sais alcalinos, como os citratos, acetatos e lactatos) e ácido bórico, ácido fosfórico, glicerina, álcool, éter, acetona e açúcar.

Espécies químicas que geram reações complexas, resultando em produtos pouco solúveis ou insolúveis ao redor dos cristais de dihidrato, atrasando o seu crescimento e, como consequência, sua precipitação: boratos, fosfatos, carbonatos e silicatos alcalinos.

Produtos orgânicos de massa molecular elevada, como as proteínas degradadas e alguns colóides; misturados com água, formam um gel ao redor dos grãos de hemidrato, atrasam o contato com a água e a solubilização e cristalização do dihidrato: queratina, caseína, goma arábica, gelatina, pepsina, peptona, albumina, alginatos, proteínas hidrolisadas, aminoácidos e formaldeído condensados.

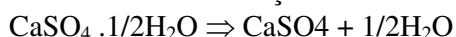
7.10 Reações de transformação

- Até 100°C ocorre a secagem da umidade da matéria prima.

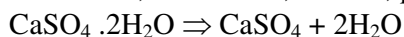
- Entre 140°C e 160°C formação do hemidrato:



- Entre 160°C e 190°C formação da anidrita I:



- Acima de 250°C, a anidrita I, solúvel, por mudança de estrutura forma a anidrita II, insolúvel.



- A 1.200°C, a anidrita II transforma-se na anidrita.

- A 1.350°C, ocorre a fusão.

- Acima de 1.450°C, ocorre a dissociação da anidrita em anidrido sulfúrico e óxido de cálcio.

Propriedades

No estado em que se encontra no mercado, o gesso é um pó branco de elevada finura, cuja massa unitária é de 0,70 (aproximadamente), diminuindo com o grau de finura. Sua massa específica fica em torno de 2,7 kg/dm³.

a) Pega: O gesso misturado com a água começa a endurecer em razão da formação de uma malha imbricada de finos cristais de sulfato hidratado. Depois da pega, o gesso, tal como os outros materiais aglomerantes, continua a endurecer, ganhando resistência, num processo que pode durar semanas.

O tempo de pega para o gesso de paris é de 15 a 20 minutos.

A quantidade de água necessária para a hidratação é de 50 a 70%. A temperatura da água funciona diretamente como acelerador e sua quantidade como retardador

O gesso de paris, se totalmente puro, iniciaria a pega entre 2 e 5 minutos, tornando-o virtualmente inútil como material de construção, pois endurece antes que possa ser trabalhado. Mas, a presença de impurezas, que naturalmente ocorre na gipsita original, diminui muito a velocidade de endurecimento. Pode-se também influir no tempo de pega utilizando-se aditivos apropriados tais como os retardadores: sulfato de sódio, bórax, cola, açúcar, serragem fina de madeira e até sangue e outros produtos de matadouro usados em proporção 0.1 a 0.5% . Alguns produtos retardam a hidratação por interferência mecânica, formando membranas protetoras intergranulares, outros a alteram por influir na solubilidade do hemihidrato. Como aceleradores tem-se: alúmen de potássio (silicato duplo de alumínio e potássio), sal de cozinha, etc.

A cal hidratada, em mistura com até cerca de 15%, melhora as qualidades plásticas da pasta.

b) Endurecimento e Resistência Mecânica: A relação água/gesso é decisiva para a qualidade do produto endurecido, isto é, sua porosidade e sua resistência. Quanto mais água, mais poroso e, conseqüentemente, menos resistente. O endurecimento e acréscimo da resistência do gesso em ambiente seco devido à perda da água excedente. Caso o gesso hidratado permaneça em local úmido, sua resistência não varia, e conforme o grau de saturação, poderá cair, até se desintegrar (ou ser lixiviado), portanto não é recomendado para locais úmidos. Por isso, é um aglomerante aéreo.

A ASTM C-26 especifica as seguintes características para o gesso:

- Resistência à flexão: 1,4 MPa
- Resistência à compressão: 7,0 MPa
- Nenhum resíduo na peneira nº 14 (1,4mm)
- % passando na peneira nº 100 (0,15mm): 45 a 75

c) Aderência: As pastas e argamassas de gesso aderem muito bem ao tijolo, pedra e ferro; e aderem mal às superfícies de madeira. A aderência ferro-gesso, embora traduza uma compatibilidade físico-química entre os dois materiais, tem, infelizmente, o defeito de ser instável, permitindo a corrosão do metal. Não se pode fazer gesso armado como se faz cimento armado. Quando for necessário armar as placas de gesso, deverá ser feito com fibras sintéticas, tecidos ou fios galvanizados.

d) Isolamento: As pastas endurecidas de gesso gozam de excelentes propriedades de isolamento térmico, isolamento acústico e impermeabilidade ao ar. Sua condutibilidade térmica é muito fraca (0.40 cal/h/cm²/°C/cm), cerca de 1/3 do valor para o tijolo comum. O gesso é material que confere aos revestimentos com ele realizados considerável resistência ao fogo. A água de cristalização é eliminada pelo calor, reduzindo o material superficial à condição de pó (sulfato anidro), que não sendo removido, atua como um isolador que protege a camada inferior do gesso.

Aplicações

Na construção civil, o gesso é usado especialmente em revestimentos e decorações interiores. Pode ser utilizado simplesmente como pasta ou recebendo adição de cal.

O material não se presta, para aplicações exteriores por se deteriorar em conseqüência da sua solubilidade na água.

A principal aplicação do gesso nos países industrializados, e no Brasil isto já vem ocorrendo com grande expansão, é na produção de pré-fabricados, tais como bloquetes, chapas divisórias e de revestimento, incluindo a forma de gesso acartonado. Além dessas aplicações, usa-se o gesso na confecção moldes para as indústrias metalúrgicas, de plásticos e cerâmica; em moldes artísticos, ortopédicos e dentários; como aglomerante do giz, na mineração de carvão para vedar lâmpadas e áreas onde há perigo de explosão de gases. Isolantes acústicos são obtidos pela adição de material poroso ao gesso.

O gesso é largamente empregado na fabricação de ornamentos, painéis para paredes e forros, etc. sempre produtos de fino acabamento.

Atualmente, algumas grandes empresas internacionais de materiais de construção estão se instalando no Brasil e investem pesadamente na fabricação e aplicação do gesso em painéis pré-fabricados para divisórias internas prediais. As divisórias são isolantes acústicas e permitem embutir as instalações elétricas e hidráulicas, dando velocidade e um bom índice de industrialização à construção, principalmente quando casada à estruturação metálica).

Uma outra grande aplicação tem sido na forma de gesso acartonado em placas para a pré-fabricação. Obs.: deve-se cuidar, no entanto, para que a qualidade final do revestimento seja plenamente satisfatória.

Cimento Keene

Uma variedade bem conhecida de gesso de acabamento é o chamado cimento keene.

Fabricação:	calcinação de gipsita muito pura imersão em solução de 10% de alúmen recalcinação e moagem
-------------	--

Ensaio existentes para caracterização do gesso:

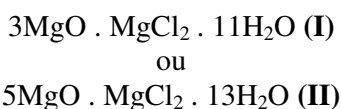
Determinação da consistência padrão (pastas e argamassas), finura, início e fim de pega, resistência à compressão e à tração por flexão, massa específica e variação dimensional por secagem (ASTM C-311).

MAGNÉSIA SOREL (OU SAREE)

O cimento magnesiano, cimento sorel ou magnésia sorel, é um aglomerante muito resistente, obtido pela reação do óxido de magnésio e cloreto de magnésio.

A magnésia vem em sacos; o cloreto em vidros. Adicionam-se serragem, mármore moído, etc, com a magnésia e depois o cloreto. Essa argamassa endurece em algumas horas e tem resistência mecânica igual à do cimento portland.

A reação que provoca o endurecimento forma um produto de fórmula:



Seja $p = \text{MgO} / \text{MgCl}_2$

- $p < 3 \Rightarrow \text{(I)} + \text{sol. MgCl}_2 \Rightarrow$ sensível à umidade;
- $3 < p < 5 \Rightarrow \text{(I)} + \text{(II)}$;
- $p > 5 \Rightarrow \text{(II)} + \text{Mg(OH)}_2 \Rightarrow$ expansivo.

Lavagens sucessivas vão eliminando paulatinamente o cloreto, dando hidróxido e destruindo a argamassa; logo, não é conveniente que fique exposta às intempéries, porque então apresentam a tendência de inchar e fender.

Aplicações

O cimento sorel é muito empregado para pisos, paredes e placas de revestimento. O material de enchimento será escolhido de acordo com o tipo de produto que se queira obter. Empregam-se madeiras, cortiça, amianto, pó de pedra, talco, etc.

A principal desvantagem do cimento sorel é sua instabilidade em presença de água. Podem ocorrer também fissuração, produção de pó e aumento de volume sem causas bem definidas.

Resistência mecânica do concreto com cimento sorel:

- resistência à compressão: 22,5 MPa.
- resistência à flexão: 3 a 6 Mpa.

CAL AÉREA

1 – GENERALIDADES:

Utilização ampla da cal :



Utilização da cal na construção civil:

Argamassa: Assentamento de alvenarias, revestimentos, etc.

Tinta: Pinturas à base de cal.

Blocos construtivos: sílico-calcário, cal-escória, concreto celular, solo-cal.

Estabilizador de Solos: base e sub-base de pavimentos rodoviários.

Aditivo: melhorando misturas asfálticas para pavimentação.

Na antiguidade o aglomerante clássico dos elementos de construção era a cal. Pode-se até imaginar que tenha sido descoberta acidentalmente num acampamento onde se acendeu uma fogueira sobre a rocha calcária; tendo caído uma chuva inesperada ocorre a desagregação dos pedaços de rocha, com a produção de vapor d'água e de uma pasta branca. Esta pasta ao transcorrer dos dias recupera a dureza e resistência da rocha original.

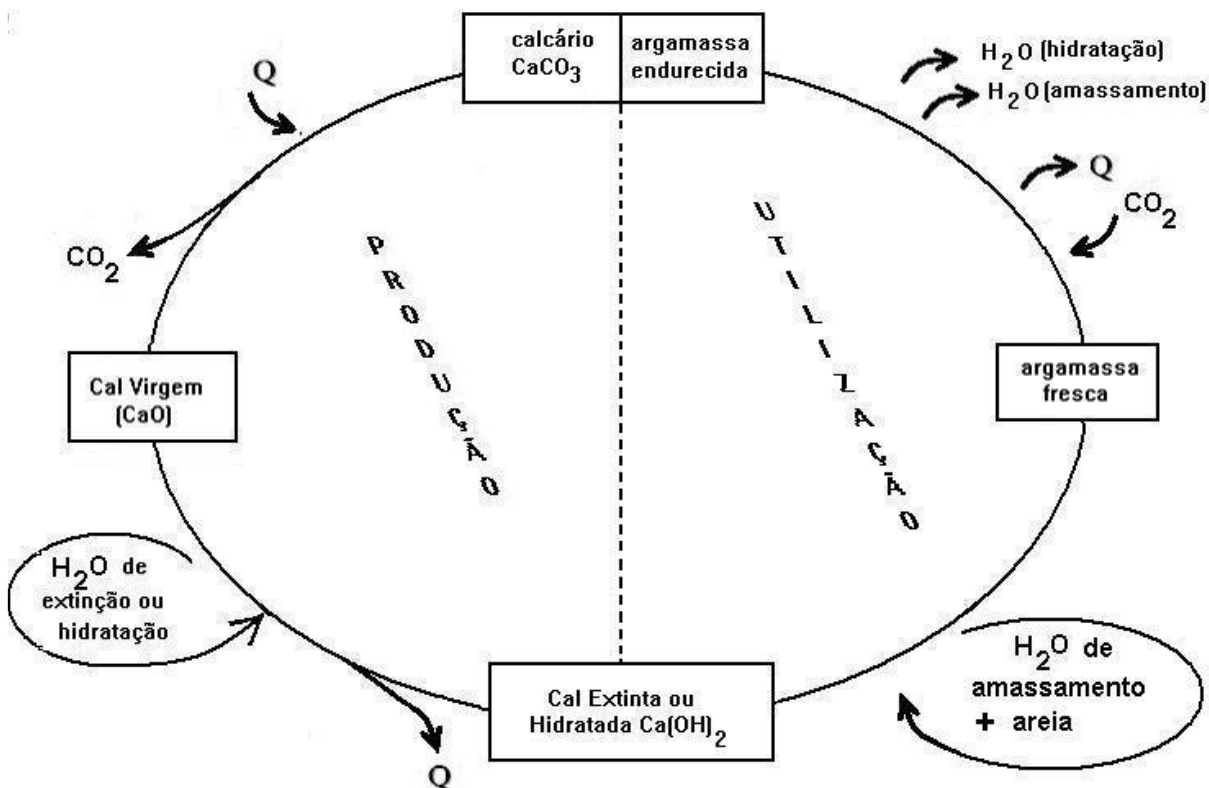
Deste modo ou de uma maneira muito semelhante foi descoberto o aglomerante e a argamassa de cal, séculos antes que se conhecesse a explicação do processo.

Atualmente no Brasil, segundo a ABPC (Associação Brasileira dos Produtores de Cal), consomem-se, nas pequenas construções 1,1 sacos de cal por m² de construção, ou seja, 22 kg/m² de área construída. Isto dá bem uma dimensão da importância do material que é também empregado na estabilização dos solos, em especial os sílticos e argilosos formando o solo-cal, nos processos de obtenção de aço (fundentes) na fabricação de açúcar de cana, na obtenção do vidro, no tratamento de água, na obtenção de papel e em concretos especiais para aumentar a trabalhabilidade.

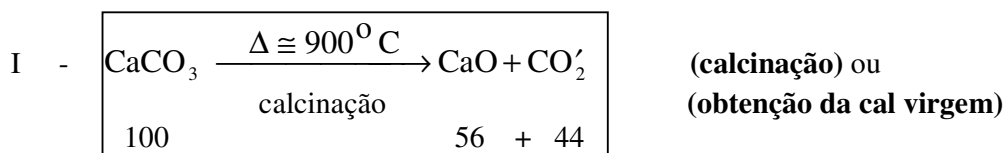
Quanto à forma de oferecimento do produto no mercado, podemos classificar as cales, e, esta é a classificação da ABNT, em cales hidratadas ou cales virgens, conforme tenham sido, ou não, extintas na própria fábrica.

Para sua fabricação, utiliza-se uma única matéria prima que é o calcário (carbonato de cálcio) com teor desprezível de argila. O cozimento é feito a uma temperatura inferior à fusão, cerca de 900°C, suficiente para a dissociação do calcário, produzindo-se cal virgem e desprendendo-se gás carbônico.

2 - CICLO DA CAL AÉREA COMO AGLOMERANTE:



2.1 - Reações Químicas Envolvidas e sua importância:

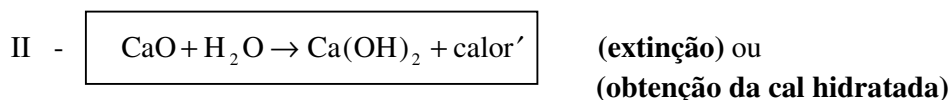


O calcário perde 44% de seu peso quando calcinado, sofrendo redução de volume de 12 a 20%.

Ao ser calcinado, o calcário mantém sua forma (fragmentos), tornando-se, porém, mais poroso.

Obs.: Os calcários dolomíticos sofrem perda de peso maior podendo chegar até 52%, caso fossem carbonatos de magnésio puros.

No ensaio de perda ao fogo para a cal virgem (MB-342) pode-se verificar desprendimento de mais CO_2 (indicando má calcinação) ou presença de vapor d'água [decomposição do Ca(OH)_2] indicativo de hidratação precoce da cal virgem ou viva. Portanto, quanto menor a perda ao fogo é sinal de melhor industrialização e correto armazenamento do produto. Outro significado do ensaio é que a % de $(\text{CaO} + \text{MgO})$ representa o total de óxidos livres para a reação.



A cal extinta ou hidratada, que é o aglomerante usado em construções, é obtida na reação acima com o aumento de volume de $\cong 100\%$ e grande desprendimento de calor (aproximadamente 280 cal/g), o que pode acarretar em certos casos a elevação da temperatura em mais de 100°C , com risco de incêndios. As partículas de hidróxido de cálcio e magnésio resultantes dessa desagregação são extremamente pequenas com dimensões na ordem de 2 micra (0,002mm). Somente as impurezas não se transformam em pó, existindo inclusive um ensaio chamado resíduo de extinção para verificar o teor de impurezas no calcário.

Qualidade através da Velocidade de Extinção:

A hidratação ou extinção da cal virgem é uma operação importantíssima que deve ser cuidadosamente controlada, pois é dela que vai depender o desempenho da cal como aglomerante. As cales virgens apresentam diferentes comportamentos quando em presença de água, segundo tenham predominância ou não de magnésio.

O MgCO_3 dissocia-se ou decompõe-se a cerca de 402°C e o CaCO_3 somente com cerca de 898°C , à pressão atmosférica. Assim, quando se inicia a decomposição do CaCO_3 , o MgO já formado está há algum tempo exposto a temperaturas mais elevadas e isto acarreta a sinterização (semifusão) do MgO , denominada coalescência do cristal, que diminui sua afinidade com a água dificultando posteriormente a hidratação. Esse comportamento distinto exige uma classificação prévia, quanto à rapidez de extinção de uma cal virgem.

Se a água não for acionada convenientemente à cal, na extinção da cal rápida, normalmente cal cálcica ou alto cálcio, a dificuldade de irradiação do calor gerado pode elevar excessivamente a temperatura de modo a prejudicar a cal; diz-se então que a cal foi **queimada**. Na cal de extinção lenta, geralmente magnesianas, que tem menor afinidade com a água, o calor se irradia com facilidade, dando, como consequência a não extinção completa, diz-se que a cal está **afogada**.

Para evitar estes dois fenômenos prejudiciais, recomendam-se os seguintes cuidados na extinção:

- cal de extinção rápida (início das reações em menos de 5 min.): cal adicionada à água que deve cobri-la toda. Não permitir o desprendimento de vapor, adicionando sempre mais água;
- cal de extinção média (início das reações entre 5 e 30 min.): água adicionada à cal até cobri-la, mexer sempre que necessário;
- cal de extinção lenta (início das reações após 30 min.): água adicionada à cal até umedecê-la completamente, esperando que a reação se inicie; posteriormente, se necessário, adicionar cautelosamente mais água.

Também pelo MB-342 pode ser verificada a existência de partículas de CaO e MgO na cal já extinta. Se isto acontece, a hidratação fatalmente ocorrerá no revestimento ou rejuntamento, fenômeno que se dará com expansão de volume e conseqüentes prejuízos estéticos.

A finura de uma cal é, sem dúvida, o fator de maior importância nas suas propriedades como material de construção civil. É desejável, portanto que a cal tenha uma boa finura, pois quanto maior for a porcentagem de material fino, maior a sua plasticidade e retenção de água, duas propriedades das pastas e argamassas que mais contribuem para a perfeita união dos elementos construtivos. Além disso, partículas com diâmetros de 0,5 mm ou mais são normalmente as responsáveis pela falta de estabilização das cales.

A finura pode ser verificada pelo ensaio de peneiramento (máx. de 0,5% retido na peneira 0,6mm e 15% na peneira 0,075mm, peneira 200, pelo método ASTM C-110) ou pela permeabilidade ao ar no aparelho de blaine (área específica de 10.000 a 15.000 m^2/kg), verificou-se experimentalmente que tais cales são constituídas predominantemente de partículas de 0,5 a 10,0 micrômetros.

Alguns pesquisadores afirmam que a forma e a finura das partículas de cal hidratada sofrem influência da temperatura de calcinação do calcário bem como do método de hidratação da cal. Em particular, temperaturas elevadas durante a hidratação tendem a aumentar o tamanho das mesmas. Justificam-se condições de temperatura e pressão altas nos processos modernos de extinção que conseguem um produto completamente hidratado. A plasticidade nesse caso pode ser aumentada utilizando-se da moagem em moinhos de bolas.

Especificações pela NBR 6453/03

Quadro 6 – Cal virgem para construção – exigências químicas

Tipo*		CV - E	CV - C	CV - P
Anidrido carbônico	Fábrica	$\leq 6,0\%$	$\leq 12\%$	$\leq 12\%$
	Depósito ou obra	$\leq 8,0\%$	$\leq 15\%$	$\leq 15\%$
Óxidos totais na base de não voláteis ($\text{CaO}_T + \text{MgO}_T$)		$\geq 90\%$	$\geq 88\%$	$\geq 88\%$
Água combinada	Fábrica	$\leq 3,0\%$	$\leq 3,5\%$	$\leq 3,0\%$
	Depósito ou obra	$\leq 3,6\%$	$\leq 4,0\%$	$\leq 3,6\%$

- * CV – E: cal virgem especial
 CV – V: cal virgem comum
 CV – P: cal virgem em pedra

Quadro 11 – Cal hidratada para construção. Exigências químicas (NBR 6453/03)

Requisitos		Critérios limite		
		CH I	CH II	CH III
Anidrido carbônico	Fábrica	$\leq 5\%$	$\leq 5\%$	$\leq 13\%$
	Depósito ou obra	$\leq 7\%$	$\leq 7\%$	$\leq 15\%$
Óxidos de cálcio e magnésio não hidratados ($\text{CaO} + \text{MgO}$)		$\leq 10\%$	$\leq 15\%$	$\leq 15\%$
Óxidos totais na base de não voláteis ($\text{CaO} + \text{MgO}$)		$\geq 90\%$	$\geq 88\%$	$\geq 88\%$

Quadro 12 – Cal hidratada para construção. Requisitos físicos (NBR 6453/03)

Requisitos		Critérios limite		
		CH I	CH II	CH III
Finura (resíduo)	Peneira 0,600 mm	≤ 0,5%	≤ 0,5%	≤ 0,5%
	Peneira 0,075 mm	≤ 10%	≤ 15%	≤ 15%
Retenção de água		≥ 75%	≥ 75%	≥ 70%
Incorporação de areia		≥ 3,0%	≥ 2,5%	≥ 2,2%
Estabilidade		Ausência de cavidades ou protuberâncias		
Plasticidade		≥ 110%	≥ 110%	≥ 110%

Ensaio normalizados

- Finura (NBR 9289/00)
- Estabilidade (NBR 9205/01)
 - Retenção de água (NBR 9290/96)
 - Plasticidade (NBR 9206/03)
 - Consistência normal (NBR 14399/99)
 - Capacidade de incorporação de areia (9207/00)

Plasticidade:(plasticímetro de Emley)

Importância: plasticidade alta significa maior trabalhabilidade, são também mais econômicas no uso uma vez que permitem maior proporção de areia no preparo das argamassas.

Geralmente, a plasticidade da argamassa é afetada pelo tempo em que a pasta esteve em contato com a água. Quanto maior o tempo de embebição, maior a plasticidade.

Obs.: o plasticímetro de Emley mede a plasticidade das pastas de cal.

Retenção de água:

Uma boa retenção de água melhora a aderência entre os elementos da construção. Isto significa dizer que a argamassa irá ceder água para os elementos da alvenaria de uma maneira gradativa, não rapidamente, o que causaria má aderência, e nem excessivamente lenta, pois poderia acarretar a perda de prumo da alvenaria.

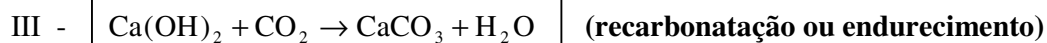
A grande capacidade de fixação de água da cal hidratada é devida à união física e química da água sobre o cristal de Ca(OH)_2 e isto é a base principal do endurecimento da argamassa de cal aérea, já que deste modo há sempre presente suficiente quantidade de água para dissolver a cal e o CO_2 propiciando a reação de carbonatação. Obs.: a finura maior também beneficia na capacidade de retenção de água do conjunto. O valor mínimo para a retenção de água da cal do tipo “E” é de 85% pela Norma e 75% para o tipo “C”

Capacidade de incorporação de areia:

O objetivo deste ensaio é determinar a quantidade máxima de areia que pode ser misturada com uma cal sem prejudicar as características de trabalho da mistura resultante. No ensaio, uma série de misturas areia-cal contendo proporções crescentes de areia é forçada através de um tubo com ponta tronco-cônica, com força e velocidade constantes. Atinge-se um estágio onde um pequeno aumento no conteúdo de areia resulta num aumento desproporcionalmente grande na quantidade de energia necessária para extrudar a mistura toda, sobrando no tubo uma porção de argamassa não extrudida. A altura dessa porção que sobra no tubo não pode exceder 3,7cm. Desta forma podemos encontrar qual o traço mais

econômico para uma determinada cal, garantindo com isso a mesma trabalhabilidade da mistura resultante.

Obs.: Verificou-se que cales com plasticidade e retenção de água elevadas (maior finura), também têm capacidade de incorporação de areia elevada; conseqüentemente, tais cales são as mais econômicas na prática.



Aproveita-se o fechamento do ciclo para se fazerem as argamassas misturando-se a cal extinta com areia e água.

Finalmente, o bom desempenho de argamassas de cal, que são duráveis e capazes de acomodarem-se a pequenas deformações, restabelecendo fendas minúsculas e preenchendo vazios nas argamassas, é explicado pela recarbonatação da cal, devida a ciclos de umedecimento e secagem. Este restabelecimento autógeno é de grande valia na impermeabilidade de juntas de assentamento de alvenaria.

Insistindo num produto em conformidade com uma determinada especificação, ou seja, fazendo os ensaios de recebimento e aceitação, o construtor estará seguro de obter um produto com as características que o torna mais adequado aos seus propósitos, e que, certamente, irá apresentar maior estabilidade. O aglomerante, tendo propriedades físicas adequadas, invariavelmente trará melhoria no desempenho da construção, especialmente no que concerne à resistência e à durabilidade, e em economia considerável de material.

2.2 - Comentários:

A cal varia de propriedades de acordo com a composição da matéria prima e dos tratamentos a que for submetida após a calcinação. A cal é considerada aérea, quando a relação (I_h) entre os componentes argilosos e a cal é inferior a 0,1 :

$$I_h = \frac{\% \text{SiO}_2 + \% \text{Al}_2\text{O}_3 + \% \text{Fe}_2\text{O}_3}{\% \text{CaO}} < 0,1$$

Se proviesse de carbonato puro, seria exclusivamente óxido de cálcio; há, porém, um certo teor de outros componentes, tais como MgO e Si_2O_3 .

Quando o teor de óxido de magnésio ultrapassa 20%, temos as cales dolomíticas ou magnesianas, em que o MgO tem as mesmas propriedades aglomerantes do CaO.

A pasta de cal aérea hidratada, uma vez utilizada, seca e endurece pela recombinação do CO_2 do ar com o hidróxido, o que se verifica em presença de água, a qual, dissolvendo ao mesmo tempo a cal e o CO_2 , funciona como catalisador. Esse endurecimento é lento e do exterior para o interior da massa, exigindo certa porosidade para evaporação da água em excesso e penetração do CO_2 .

Há o risco de o carbonato formado na superfície constituir uma camada impermeável ao gás carbônico, ficando assim impedido o endurecimento do interior da massa. Conclui-se que não se deve empregar a cal aérea em maciços de alvenaria muito espessos, nem argamassas muito ricas (com elevado teor de cal) por não serem muito porosas.

O aumento da % de CO_2 no ambiente para acelerar a reação e endurecimento da pasta não funciona, pois, proporciona a formação de cristais, em sua maioria pequenos, trazendo como conseqüência uma redução da resistência da argamassa.

3 - CLASSIFICAÇÃO DA CAL AÉREA:

A cal aérea pode ser magra ou gorda, conforme o teor de CaO.

Cal Gorda: 90% CaO, mínimo, branca, melhor qualidade e rendimento.

Nas **cales magras**, o teor de magnésio supera 20% e pode atingir até 50% do volume.

O problema básico da magnésia é que sua extinção é muito mais lenta que a do CaO, o que pode prejudicar seriamente os revestimentos com ela executados.

4 - FABRICAÇÃO:

Atualmente a cal aérea tem sido fabricada em:

fornos verticais: calcário em blocos de 6 a 8cm em camadas com o combustível. 150 kg de carvão/ton. de cal.

fornos rotativos: (vende normalmente a cal já hidratada). Calcário em fragmentos de até 1 cm. A produção é contínua.

Combustíveis usados: carvão pulverizado, gás ou óleo combustível.

5 - CAL HIDRATADA X CAL VIRGEM:

A aquisição da cal virgem para extinção no canteiro está praticamente eliminada por vários fatores, inclusive segurança nas obras, isto apesar de oferecer maior plasticidade nas argamassas e maior rendimento econômico.

Vantagens na aquisição da cal já hidratada:

- melhor manuseio, transporte e armazenamento
- pronta para utilização, facilita a preparação das argamassas
- maior segurança contra hidratação espontânea ou incêndios.

6 - RESISTÊNCIA DAS ARGAMASSAS:

No traço 1 : 3 em volume (aos 28 dias de idade)
 0,2 a 0,5MPa para tração
 1 a 3 MPa para compressão.

A resistência poderá, no entanto, crescer bastante com a inclusão do cimento portland nas misturas (formando argamassas mistas).

AGLOMERANTES E ÍNDICE DE HIDRAULICIDADE (I_H) DAS CALES:

NOME		MATÉRIA PRIMA	$I_h = \frac{SiO_2 + Al_2O_3 + Fe_2O_3}{CaO}$	%CaO
Cal Aérea		calcário pouco argiloso	0,10	90
Cal Hidráulica		calcário argiloso	0,10 a 0,50	90 - 67
Cimento Natural	Pega lenta		0,50 a 0,65	67 - 61
	Pega rápida		0,60 a 0,80	62 - 55
Cimento Portland	Pega lenta	Mistura calcário/argila	0,45 a 0,50*	69 - 67
	Pega rápida		0,60 a 0,80	62 - 55

cimentos: produtos hidráulicos que precisam de moagem após o cozimento.

pega rápida: elevada % de aluminatos na, também elevada, % de argila.

* maior quantidade de silicato básico reagindo com mais CaO, não existindo, entretanto, cal livre.

RESUMO DAS PRINCIPAIS DIFERENÇAS ENTRE OS AGLOMERANTES:

Diferenças	Cal Aérea	Cal Hidráulica	Cimento Natural	Cimento Portland
Matéria Prima	Calcário pouco argiloso	calcário argiloso	calcário argiloso	Mistura calcário/argila dosada
Índice de Hidraulicidade	< 0,10	$0,10 < I_h \leq 0,50$	$I_h > 0,50$	$I_h > 0,50$
Endurecimento	CO ₂ do ar	CO ₂ + hidratação	Hidratação	Hidratação
Fabricação	Possuem cal livre		Pode conter cal livre por heterogeneidade da rocha.	O processo visa combinar toda a cal. Sua composição é mais regular
	Pulverizam durante extinção		necessitam moagem	

CIMENTO PORTLAND

Definição:

O **Cimento Portland Comum** pode ser definido como um aglomerante hidráulico produzido pela moagem do clínquer, que consiste essencialmente de silicatos de cálcio hidráulicos, usualmente com uma ou mais formas de sulfato de cálcio como um produto de adição.

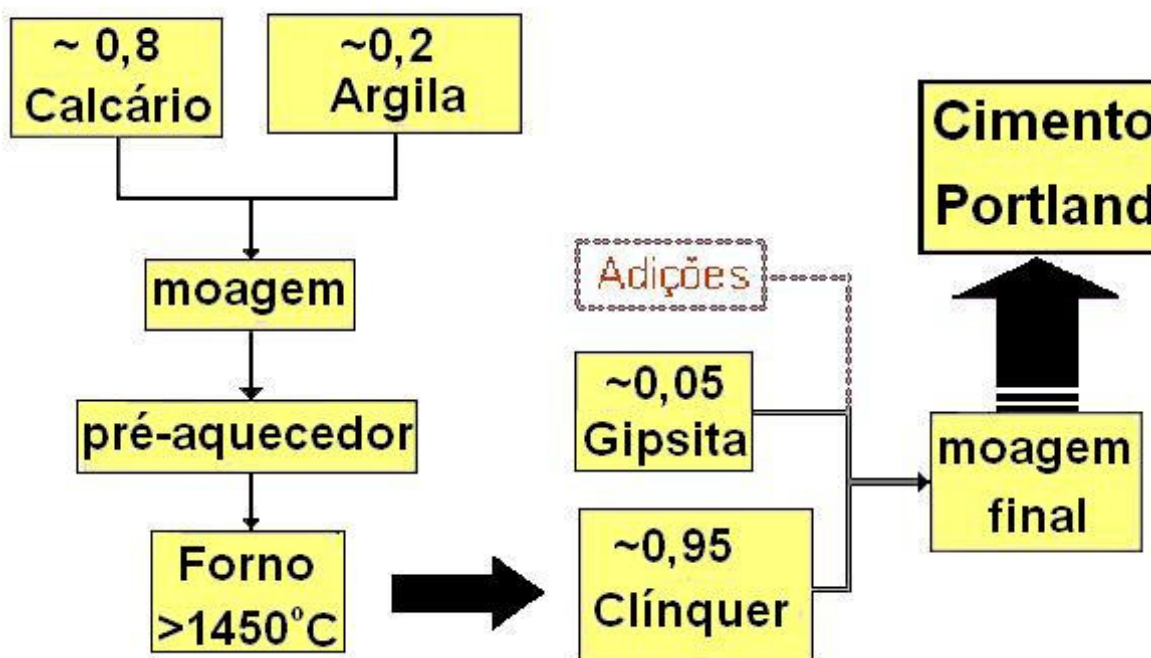
Os clínqueres são nódulos de 5 a 25mm de diâmetro de um material sinterizado, produzido pelo cozimento até fusão incipiente ($\pm 30\%$ de fase líquida) de uma mistura de calcário e argila, convenientemente dosada e homogeneizada, de tal forma que toda a cal se combine com os compostos argilosos, sem que, após o cozimento resulte cal livre em quantidade prejudicial.

Processo de Fabricação:

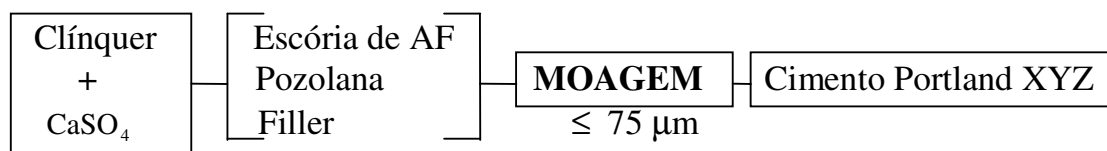
Origem do Cimento



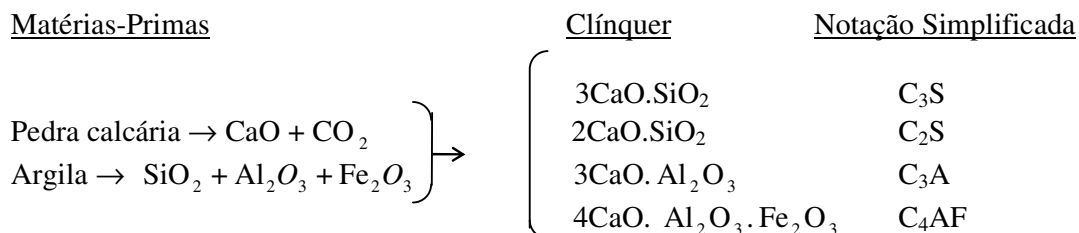
FLUXOGRAMA



A norma brasileira prevê adições que dão 8 tipos de Portland, conforme o teor e a composição adotada:



- A presença de Al_2O_3 , Fe_2O_3 , MgO e álcalis na mistura de matérias primas tem um efeito de reduzir as temperaturas de formação dos silicatos de cálcio, baixando os custos de produção do cimento.
- A homogeneização da mistura de matérias-primas, e a moagem, também ajudam na formação dos compostos desejados no clínquer.
- Devido à maior eficiência em termos de consumo de energia, as fábricas modernas priorizam o processo de produção por via seca (800 kcal por quilograma de clínquer contra 1400 kcal/kg na via úmida).
- As reações químicas que ocorrem no sistema de fornos de cimento podem aproximadamente ser representadas como as seguintes:



A operação final no processo de produção consiste na moagem do clínquer com gesso (retardador da pega inicial) e as adições em teores variados que darão os vários tipos de cimento portland especificados pelas normas técnicas do CB-18 da ABNT.

Seqüência de formação dos compostos do clínquer:

Na temperatura de clinquerização, em torno de 1450°C , a formação dos compostos ocorre da seguinte maneira:

Inicialmente a cal se combina com o óxido de ferro e a alumina para dar o ferroaluminato tetracálcico (C_4AF), até esgotar-se o óxido de ferro. A alumina restante vai formar com a cal o aluminato tricálcico (C_3A). A sílica combina-se com a cal, dando o silicato dicálcico (C_2S). O restante da cal age sobre o C_2S , dando o silicato tricálcico (C_3S). Se houver cal em excesso, haverá cal livre.

Composição Química:

A composição em óxidos dos cimentos nacional varia, comumente, entre os seguintes valores:

CaO 61 a 67%	MgO 0,8 a 6 %
SiO ₂ 20 a 23%	Álcalis 0,3 a 1,5%
Al ₂ O ₃ 4,5 a 7%	SO ₃ 1 a 2,3%
Fe ₂ O ₃ 2 a 3,5%	TiO ₂ ; Mn ₃ O ₄ e P ₂ O ₅ - Aparecem em pequenas quantidades

Perda ao fogo: $\leq 4,5\%$ e Insolúveis no HCl: $\leq 1,0\%$

Notação própria da química dos cimentos – abreviações

<u>Óxido</u>	<u>Abreviação</u>	<u>Compostos</u>	<u>Abreviação</u>
CaO	C	$3\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$	C_3S
SiO ₂	S	$2\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$	C_2S
Al ₂ O ₃	A	$3\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3$	C_3A
Fe ₂ O ₃	F	$4\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{Fe}_2\text{O}_3$	C_4AF
SO ₃	$\bar{\text{S}}$	$\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$	$\text{C}\bar{\text{S}}\text{H}_2$
H ₂ O	H	$3\text{CaO} \cdot 2\text{SiO}_2 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$	$\text{C}_3\text{S}_2\text{H}_3$

É prática comum na indústria do cimento, calcularem-se os teores dos compostos a partir da análise dos óxidos usando uma série de equações originalmente desenvolvidas por R. H. Bogue. A determinação direta desses compostos, que requer habilidade e equipamentos especiais, não é necessária para o controle rotineiro da qualidade do cimento.

Obs.: a determinação direta acima citada pode ser feita por dois métodos, a saber: microscopia em seções polidas e difratogramas de raios X de amostras pulverizadas (baseia-se em curvas de calibração que comparam picos de difração).

Cálculo da composição potencial do cimento pelas equações de Bogue:

$$\begin{aligned}\% C_3S &= 4,071C - 7,600S - 6,718A - 1,430F - 2,805\bar{S} \\ \% C_2S &= 2,867S - 0,754C_3S \\ \% C_3A &= 2,650A - 1,692F \\ \% C_4AF &= 3,043F\end{aligned}$$

Observações:

1) As equações de Bogue admitem que as reações químicas de formação dos compostos do clínquer estejam completas, e que a presença de impurezas tais como o MgO e os álcalis possa ser ignorada. Esta é a razão pela qual a composição calculada é também referida como **composição potencial** do cimento.

2) As equações são aplicáveis aos cimentos com uma relação A/F $\geq 0,64$

Como ambas as hipóteses não são válidas, em alguns casos, surgem desvios consideráveis entre a composição calculada e a real, determinada diretamente, principalmente em relação aos aluminatos C_3A e C_4AF .

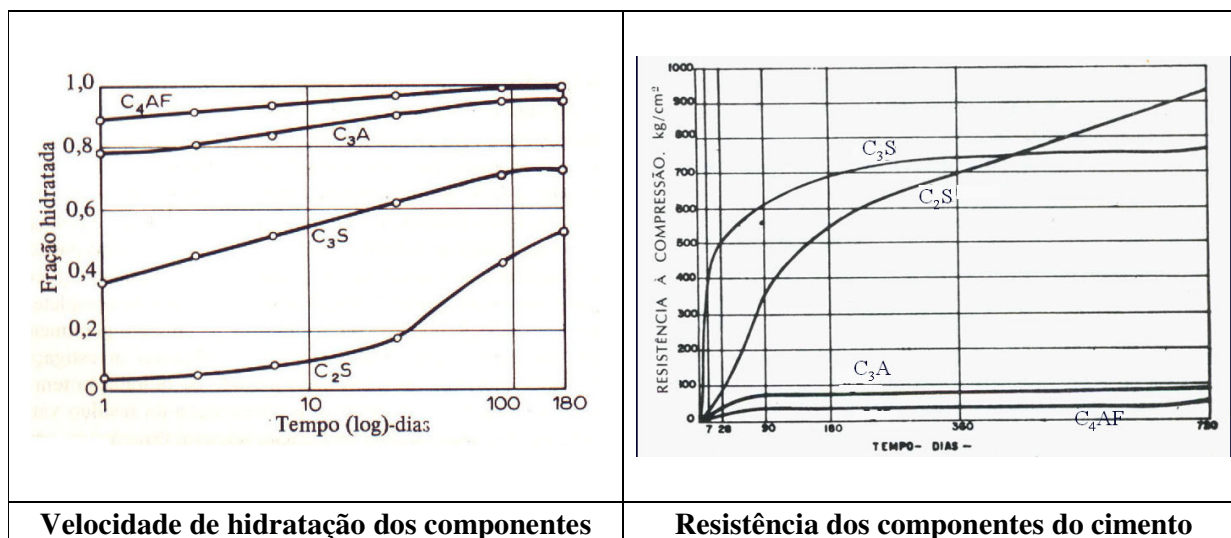
Nos cimentos brasileiros, são os seguintes os teores médios dos compostos:

$$\begin{aligned}C_3S &\rightarrow 42 \text{ a } 60\% \\ C_2S &\rightarrow 14 \text{ a } 35\% \\ C_3A &\rightarrow 6 \text{ a } 13\% \\ C_4AF &\rightarrow 5 \text{ a } 10\%\end{aligned}$$

Características dos compostos:

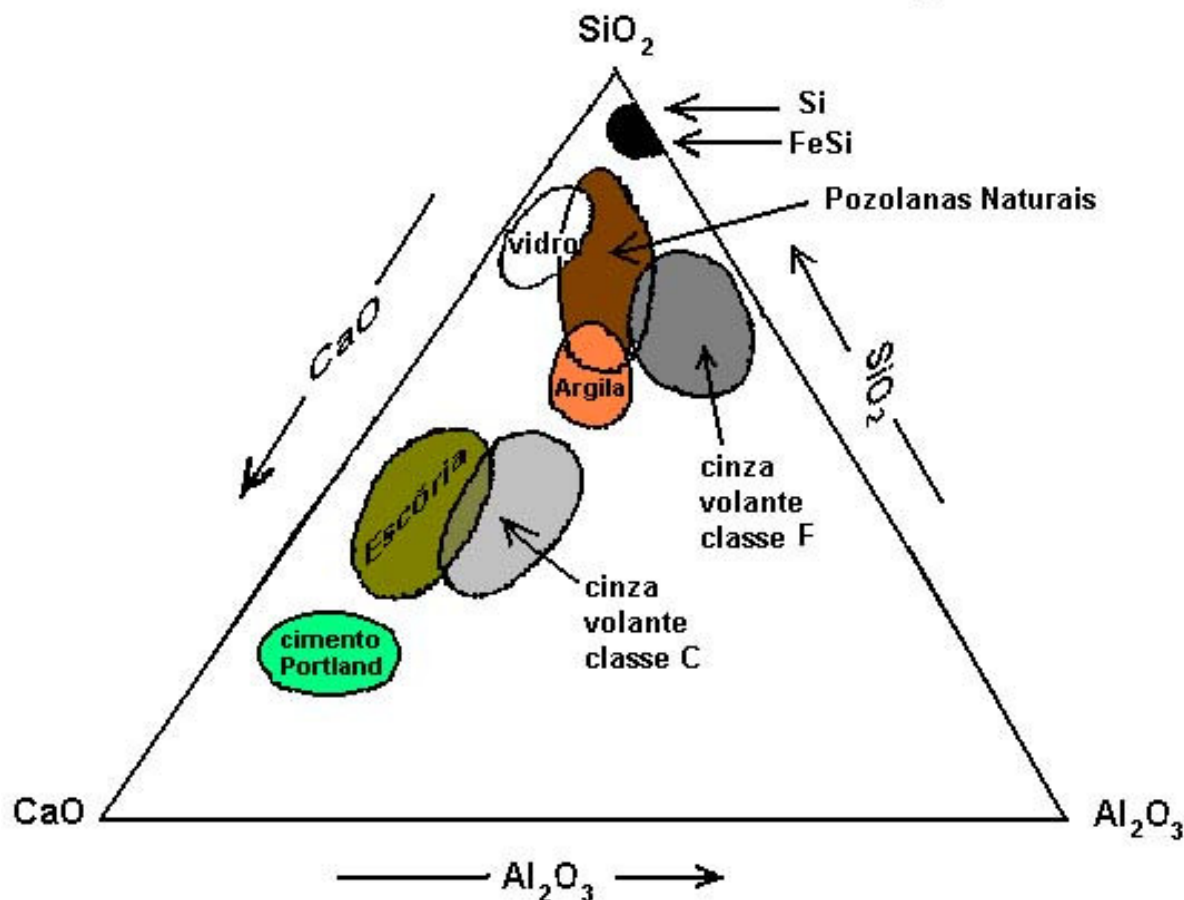
Propriedade	C_3S	C_2S	C_3A	C_4AF
Resistência	boa (início)	boa (fim)	pequena	pequena
Intensidade da reação	média	Lenta	rápida	rápida
Calor desenvolvido	médio	pequeno	grande	pequeno

Os aluminatos são os responsáveis pelas primeiras reações com a água (enrijecimento e pega), mas atingem valores muito baixos de resistência aos esforços mecânicos.



PRINCIPAIS MATERIAIS CIMENTÍCIOS

Diagrama Ternário SiO_2 - CaO - Al_2O_3



Estruturas cristalinas:

Está fora do escopo da Disciplina discutir em detalhes a estrutura cristalina altamente complexa dos compostos do cimento, porém, os aspectos essenciais que conduzem a diferenças na reatividade são descritos abaixo. (inclui exame microscópico do clínquer):

Silicato tricálcico: ocorre em cristais melhor definidos, relativamente grandes, com contornos hexagonais. É conhecido como **alita**. Assim como os outros, possui impurezas em pequena quantidade, íons de magnésio, alumínio, ferro, potássio, sódio e enxofre que trazem distorções em sua fórmula. Seu arranjo estrutural possui grandes vazios, responsáveis pela alta energia e reatividade. Dimensões: 10 a 50 μm .

Silicato dicálcico: ocorre em cristais relativamente grandes, exibindo forma arredondada ou com bordos dentados, mas sem evidência de forma regular. É conhecido como **belita** ($\beta\text{C}_2\text{S}$). Possui vazios intersticiais muito menores do que no C_3S e isto torna a belita muito menos reativa que a alita. A outra forma cristalográfica do C_2S , denominado ($\gamma\text{C}_2\text{S}$), tem estrutura regular que o torna não reativo. Dimensão: 30 μm , aproximadamente.

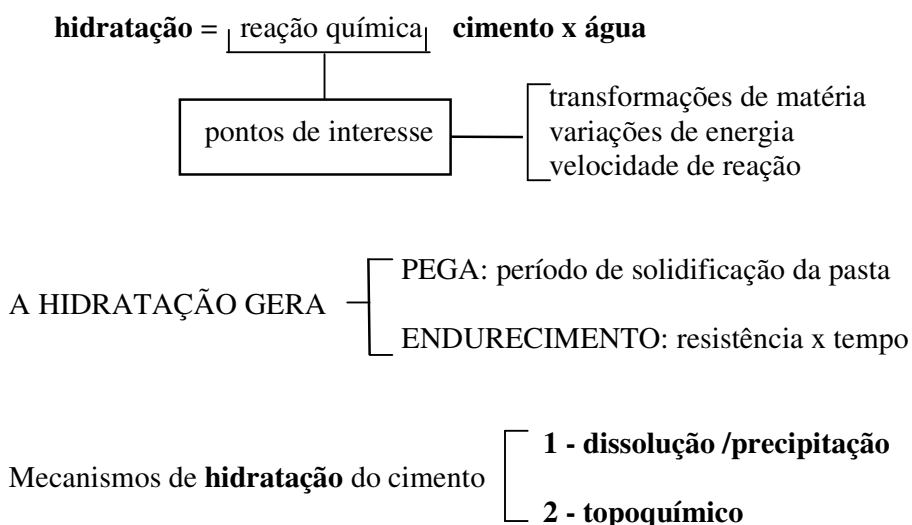
Aluminato e ferroaluminato de cálcio: formam o material intersticial situado entre os cristais dos silicatos de cálcio. São fases que se achavam no estado líquido à temperatura de clínquerização. A fase clara seria aquela contendo ferro, C_4AF ou uma solução sólida próxima dessa composição. Sua forma cristalina é às vezes de difícil distinção. Já o material intersticial escuro apresenta dois tipos: o cristalino e o amorfo. O primeiro é o C_3A e o segundo é chamado vidro, porque solidificou sem ter tido tempo de cristalizar-se. A vitrificação é maior para maiores velocidades de resfriamento. Analogamente aos silicatos cálcicos, ambos os aluminatos possuem impurezas. As estruturas cristalinas são bastante complexas, mas caracterizadas por grandes vazios intersticiais que os tornam altamente reativos.

Óxido de magnésio: uma parte do óxido de magnésio total no clínquer do cimento portland (isto é, até 2%) pode entrar em solução sólida com os vários compostos acima descritos; porém, o resto, se houver, ocorre como MgO cristalino, também chamado periclásio; cuja hidratação (transformação em hidróxido de magnésio) é uma reação lenta e expansiva que pode causar deterioração ou imperfeições no concreto endurecido.

Óxido de cálcio livre: raramente está presente em quantidades significativas nos cimentos modernos (só através de falhas nas operações de produção). Na estrutura do MgO os íons de oxigênio estão em contato íntimo com o íon Mg^{2+} num arranjo compacto nos interstícios. Porém, no caso do CaO , devido ao tamanho bem maior do íon Ca^{2+} , o oxigênio fica bem mais afastado e o arranjo não é tão compacto. Conseqüentemente, o MgO cristalino é muito menos reativo com a água do que o CaO cristalino e muito menos prejudicial, sob temperaturas comuns de cura.

Compostos Alcalinos e Sulfatos: os álcalis, o sódio e o potássio, no clínquer do cimento, são principalmente provenientes da argila ou do carvão combustível; sua quantidade total expressa, em Na_2O equivalente ($Na_2O + 0,648 K_2O$), pode variar de 0,3 a 1,5 %. Quando o cimento possui teor de álcalis superior a 0,6 %, se o agregado contiver sílica amorfa ou dolomita em condições de reação, poderá haver expansões anormais em argamassas e concretos. Os álcalis desenvolvem papel de fundentes na produção do clínquer, baixando a temperatura e reduzindo custos, e depois agem como aceleradores da pega. Quanto aos sulfatos, sua presença no clínquer tem origem geralmente no combustível. No cimento portland comum, a origem da maioria dos sulfatos (expressos em SO_3) é a gipsita, ou $CaSO_4$ numa das suas várias formas possíveis, adicionada ao clínquer.

HIDRATAÇÃO DO CIMENTO PORTLAND



1 - dissolução / precipitação:

Envolve a **dissolução** de compostos anidros em seus constituintes iônicos, formação de hidratos na solução e, devido à sua baixa solubilidade (menor que dos compostos anidros), **precipitação** proveniente de supersaturação. Há uma completa reorganização dos constituintes dos compostos originais. Outra abordagem do mesmo mecanismo pode ser vista conforme figura 1: (Dissolução / precipitação)

2 - topoquímico ou hidratação no estado sólido:

As reações ocorrem diretamente na superfície dos componentes do cimento anidro sem entrarem em solução.

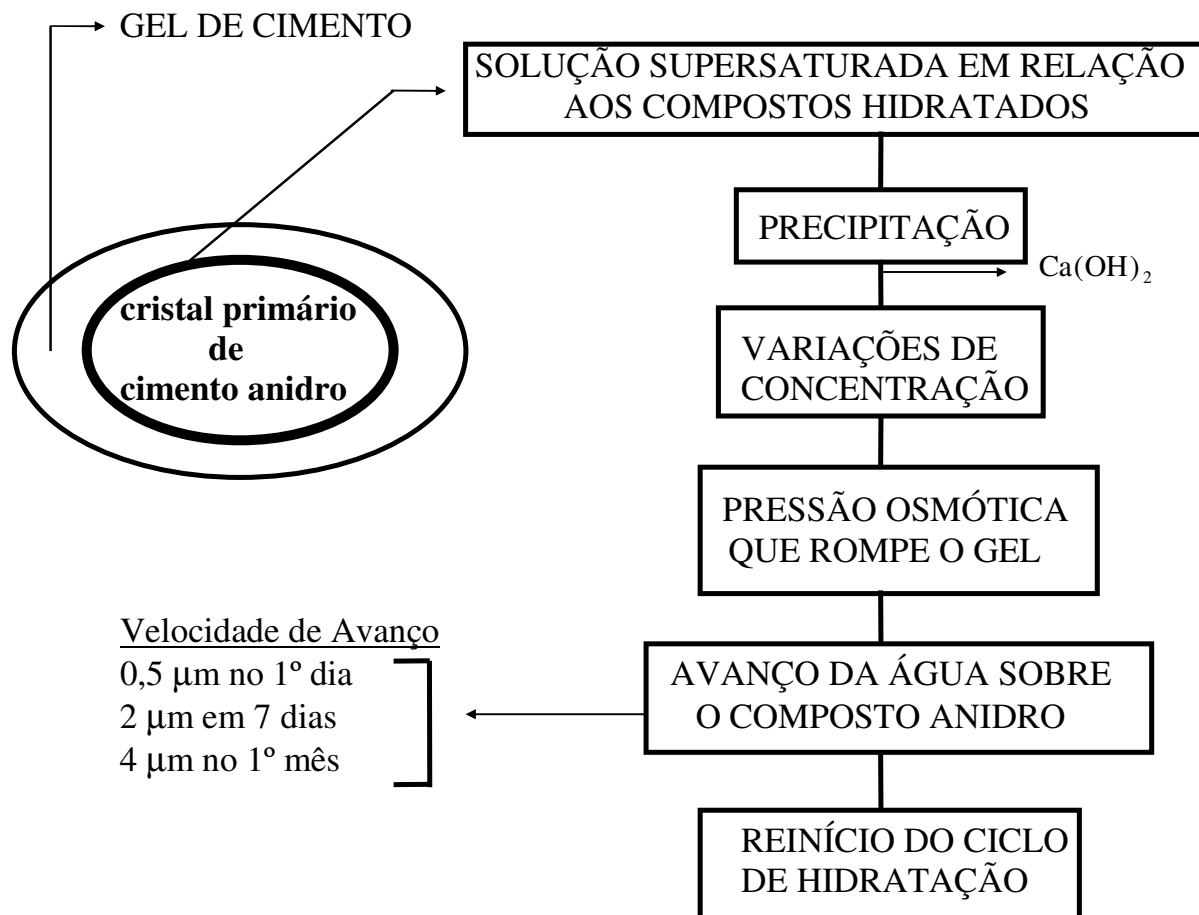
A partir de estudos sobre pasta de cimento em microscópio eletrônico notou-se que o mecanismo dissolução/precipitação é dominante nos estágios iniciais de hidratação do cimento. Em estágios posteriores, quando a mobilidade iônica na solução se torna restrita, a hidratação da partícula residual pode ocorrer por reações no estado sólido.

O **enrijecimento e a pega** são devidos aos aluminatos.

O **endurecimento** é devido, quase que exclusivamente, aos **silicatos**.



Figura 1



Veja-se o que ocorre com os compostos na hidratação do cimento:

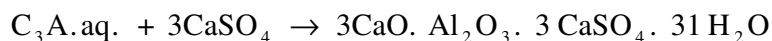
C_3S - A hidratação começa dentro de poucas horas, desprendendo-se calor; o composto anidro vai passando para a solução, aparecendo cristais de Ca(OH)_2 , enquanto uma massa gelatinosa de silicato hidratado se forma em torno dos grãos originais.

C_2S - É atacado lentamente pela água; depois de semanas os cristais se recobrem de silicato hidratado. Forma-se também Ca(OH)_2 , porém em menor quantidade que na hidratação do C_3S .

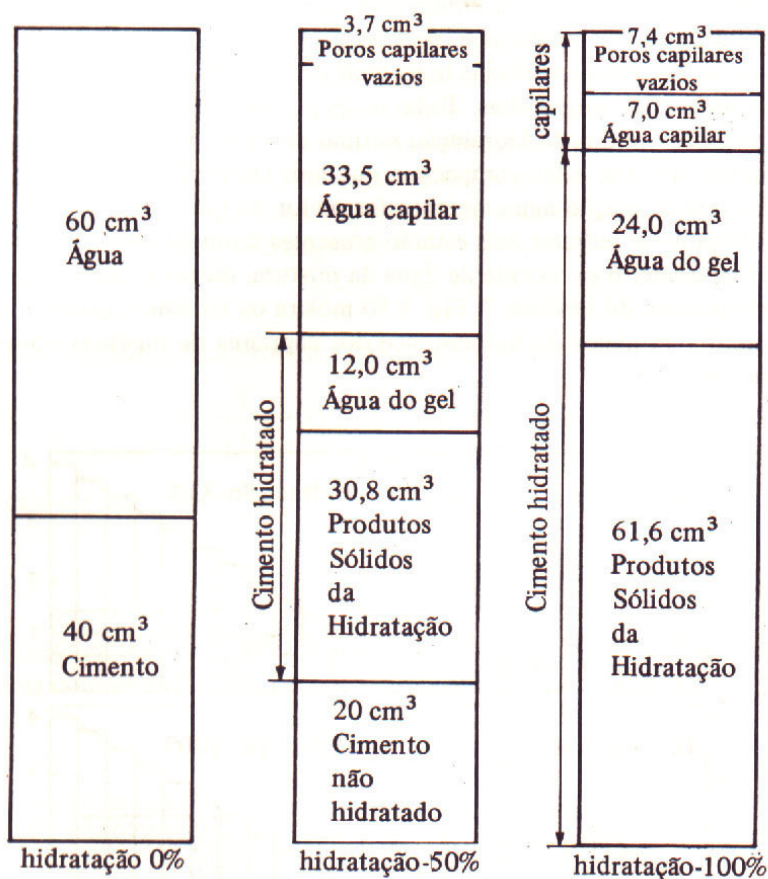
C_3A - Reage rapidamente com a água e cristaliza em poucos minutos. Não se produz hidróxido, mas aluminato hidratado. O calor de hidratação é tanto que quase seca a massa. A inclusão da gipsita é para que ocorra a sua reação com o C_3A formando uma capa de etringita (trissulfoaluminato de cálcio hidratado) envolvendo os grãos de aluminato e impedindo a continuidade da sua hidratação. Após 21 horas essa capa é rompida e a hidratação prossegue.

C_4AF - Reage menos rapidamente que o C_3A . Não libera cal e forma também um aluminato hidratado.

Obs.: Estas reações processam-se simultaneamente, havendo ainda uma reação, da parte dos compostos com o gesso. O aluminato de cálcio hidratado reage com o sulfato de cálcio e forma um sulfoaluminato conhecido pelo nome de sal de Candlot:



A cristalização desse sal se dá com fixação de muita água. O sal de Candlot é expansivo, exigindo que a quantidade de gesso adicionada seja limitada.



Representação esquemática das proporções volumétricas da pasta de cimento em diferentes estágios de hidratação

Hidratação do Cimento Portland por C. Venet (1995):

Os pormenores das reações químicas que têm lugar durante a hidratação são muito complexos e costuma-se dizer que “O concreto é fruto de uma tecnologia muito simples, mas de uma ciência muito complexa”. Detalhes do endurecimento da pasta de cimento não são ainda completamente compreendidos.

Estágios iniciais da Hidratação

Estágio 1 – Período da mistura

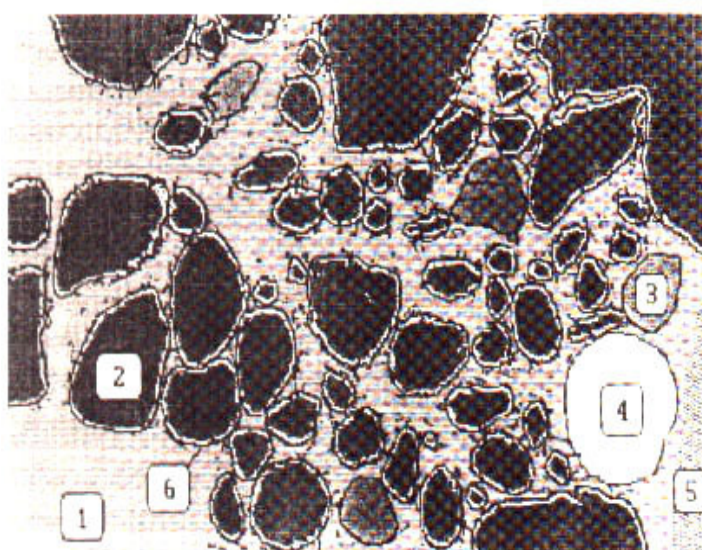
Rápida dissolução dos diferentes íons liberados pelas diversas fases. Natureza exotérmica, gerando dois hidratos que cobrem parcialmente a superfície dos grãos de cimento:

- pelo C-S-H formado com íons Ca^{++} , $\text{H}_2\text{SiO}_4^{--}$ e OH^- vindos dos silicatos do clínquer
- pela etringita (sal de trissulfoaluminato de cálcio hidratado) formada por Ca^{++} , AlO_2^- , SO_4^{--} e OH^- originados dos aluminatos e do sulfato de cálcio (gesso)

Estágio 2 – O Período dormente

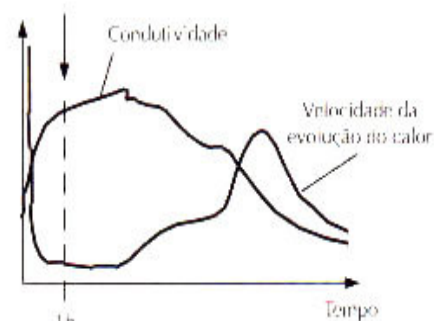
O rápido aumento tanto do pH como no teor de íons Ca^{++} da água de mistura torna mais lenta a dissolução da fase do clínquer.

PERÍODO DORMENTE

MICROESTRUTURA DA PASTA DE CIMENTO ($t=1h$)

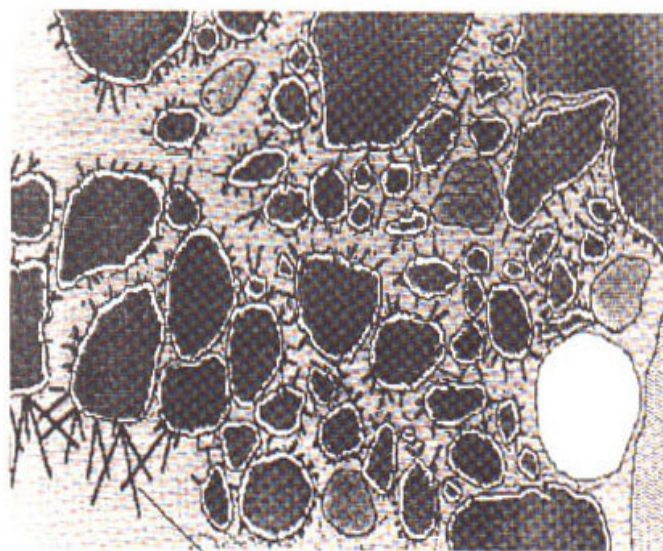
5 micrômetros

1 Água 3 Cesso 5 Agregado
2 Clínquer 4 Bolha de ar 6 Hidratos



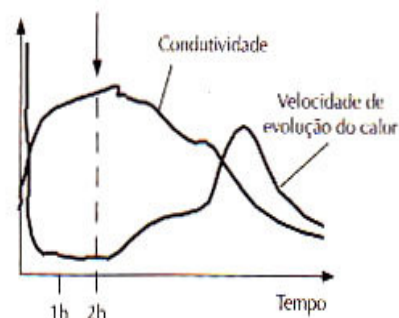
O fluxo térmico fica consideravelmente mais lento, mas nunca pára. Uma pequena quantidade de C-S-H é formada durante esse período e, se existe o equilíbrio certo entre os íons de alumínio e de sulfato, quantidades reduzidas de etringita e de aluminato de cálcio hidratado são também formadas. Durante esse período, a fase aquosa torna-se saturada em Ca^{++} , mas não existe precipitação de $Ca(OH)_2$, mais provavelmente por causa de sua baixa velocidade de formação em comparação com aquela do concorrente C-S-H. Alguma floculação dos grãos de cimento também ocorre durante este período.

PERÍODO DORMENTE

MICROESTRUTURA DA PASTA DE CIMENTO ($t=2h$)

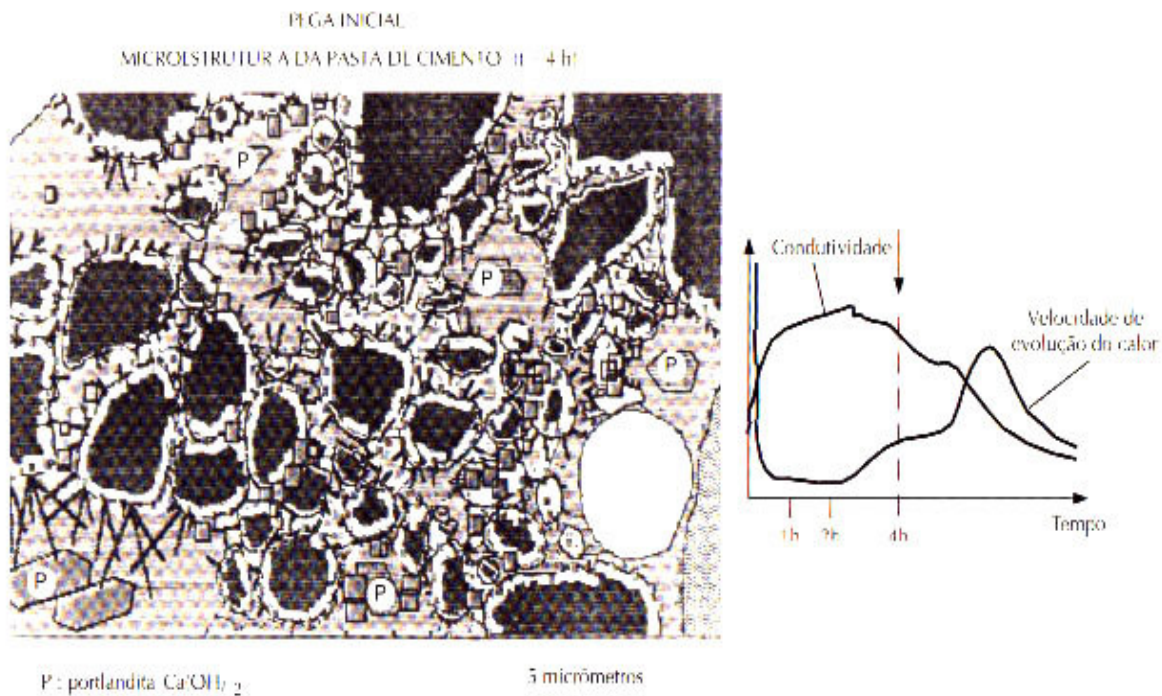
As agulhas compridas representam cristais de etringita

5 micrômetros



Estágio 3 - Início da Pega

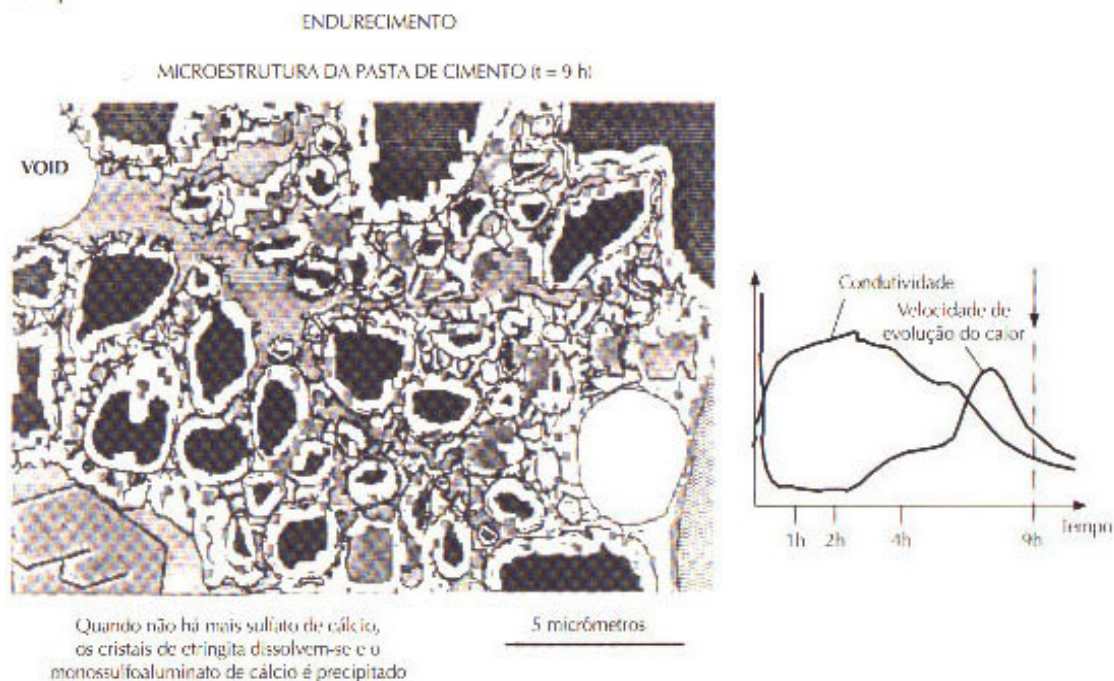
A reação de hidratação é subitamente ativada quando o hidróxido de cálcio começa a precipitar-se. Isso ocorre quando não existe praticamente mais silicato na fase aquosa. Este súbito consumo de íons Ca^{++} e OH^- acelera a dissolução de todos os componentes do cimento portland. O fluxo térmico cresce vagarosamente no princípio (porque a precipitação do CH é endotérmica e absorve algum calor) e torna-se mais rápida nos estágios finais.



Usualmente, o início da pega cai dentro deste período, exceto quando algum endurecimento da argamassa ocorre devido ao desenvolvimento de agulhas de etringita e de algum C-S-H. As fases dos silicatos e dos aluminatos hidratados começam a criar algumas ligações interpartículas, resultando em endurecimento progressivo da pasta.

Estágio 4 – Endurecimento

Na maioria dos cimentos Portland, existe menos sulfato de cálcio do que o necessário para reagir com a fase aluminato, de tal forma que durante a pega, íons SO_4^{--} são totalmente consumidos inicialmente pela formação da etringita. Isso ocorre usualmente entre 9 e 15 horas depois do início da mistura. Nesse momento, a etringita torna-se uma fonte de sulfato para formar o monossulfoaluminato com a fase aluminato remanescente. Essa reação gera calor e leva à aceleração da hidratação das fases silicato.



Nota: os produtos de hidratação formados durante os primeiros estágios são freqüentemente chamados de produtos externos porque eles crescem fora dos grãos de cimento, na fase intersticial aquosa. Eles aparecem como uma rede porosa e frouxa de C-S-H, de agulhas de etringita, de monossulfoaluminato e de cristais hexagonais amontoados de portlandita.

Estágio 5 – Redução da velocidade

Neste estágio da hidratação, os grãos de cimento estão cobertos por uma camada de hidratos, a qual vai se tornando cada vez mais espessa. É cada vez mais difícil para as moléculas de água chegarem às partes não hidratadas das partículas de cimento, atravessando essa espessa camada. A hidratação vai se reduzindo porque é controlada predominantemente pela difusão das moléculas de água através das camadas de hidratos, e a pasta de cimento hidratada se parece com uma compacta pasta “amorfa” conhecida como produto interno.

A hidratação do cimento Portland pára quando não existe mais fase anidra (concreto de alta relação água/aglomerante bem curado) ou quando a água não pode mais chegar às fases não hidratadas (sistemas muito densos e defloculados), ou ainda quando não existe mais água disponível, caso isso aconteça (relação água/aglomerante muito baixa).

Macro-diferenças entre Concretos

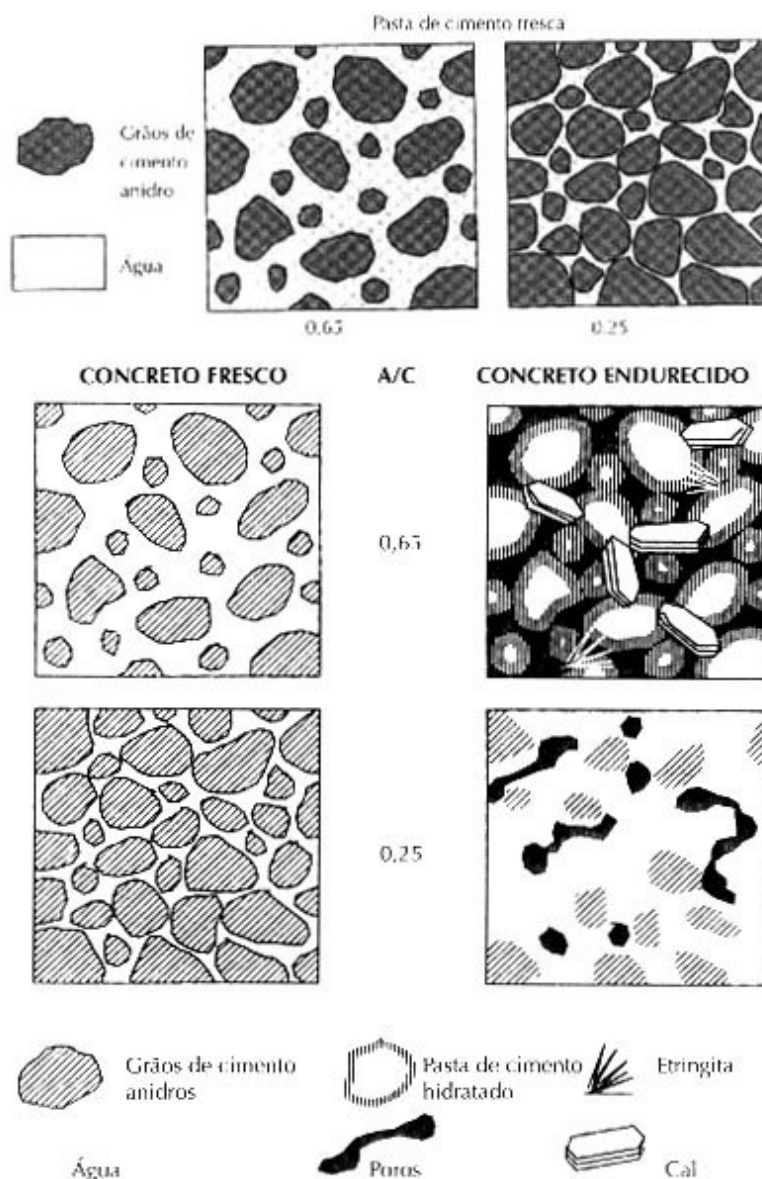


Figura 17.1

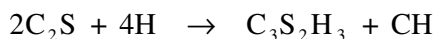
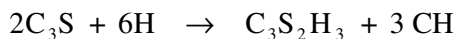
Representação esquemática da microestrutura de duas pastas de cimento, com relações água/aglomerante de 0,65 e 0,25, frescas e endurecidas.

Produtos da hidratação do cimento:

Silicato de cálcio hidratado: a fase silicato de cálcio hidratado, abreviada para **C-S-H**, constitui de 50 a 60% do volume de sólidos de uma pasta de cimento portland completamente hidratado e é, conseqüentemente, a mais importante na determinação das propriedades da mesma. O fato do termo **C-S-H** ser hifenizado significa que ele não é um composto bem definido; a relação C/S varia entre 1,5 e 2,0 e o teor de água estrutural varia ainda mais. A morfologia do **C-S-H** varia de fibras pouco cristalinas a um reticulado cristalino. Devido às suas dimensões coloidais e à tendência a aglomerar, os cristais de **C-S-H** puderam ser observados somente com o advento do microscópio eletrônico. A estrutura cristalina interna do **C-S-H** também permanece não totalmente distinguível. Ela foi anteriormente assumida como semelhante à do mineral natural tobermorita; por isto, foi às vezes denominada **gel de tobermorita**.

No caso da hidratação completa, a composição aproximada do material corresponde ao $C_3S_2H_3$; esta composição é então utilizada para cálculos estequiométricos.

As reações estequiométricas para pastas completamente hidratadas de C_3S e C_2S podem ser expressas como:



Além do fato de que produtos de reação similares são formados na hidratação de ambos os silicatos de cálcio presentes no cimento portland, há diversos pontos que precisam ser destacados.

Primeiro, cálculos estequiométricos mostram que a hidratação do C_3S produziria 61% de $C_3S_2H_3$ e 39% de $Ca(OH)_2$, enquanto a hidratação do C_2S produziria 82% e 18%, respectivamente. Os dados sugerem que a resistência final de um cimento portland de alto teor de C_3S seja menor do que a de um cimento com alto teor de C_2S .

Segundo, com relação à durabilidade a ataques químicos, muitas especificações objetivam limitar o teor máximo permissível de C_3S nos cimentos; algumas recomendam o uso de pozolanas para remover o excesso de hidróxido de cálcio da pasta de cimento hidratado.

Terceiro, pelas equações acima, pode-se calcular que os silicatos consomem 24% e 21% de água, respectivamente, para a hidratação completa.

Obs.: 1) As reações de hidratação da alita e da belita são aceleradas na presença de íons sulfato em solução. Eles são provenientes da gipsita, o que mostra que, embora o objetivo básico da gipsita no cimento seja o de retardar o início de pega, um efeito colateral é a aceleração da hidratação da alita, sem a qual os cimentos industriais endureceriam a uma taxa mais lenta.

2) A alta resistência do cimento se obtém pela melhor moagem ou pelo aumento de C_3S , obtido pelo aumento do CaO na matéria prima, mas isso ocasiona um aumento do hidróxido de cálcio, isto é, a melhoria na resistência é acompanhada de menor estabilidade química.

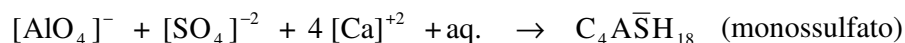
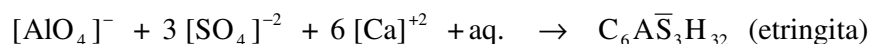
De acordo com o modelo de Powers-Brunauer, o C-S-H tem uma estrutura em camadas com uma área específica elevada, podendo chegar a $700m^2/g$. A resistência do material é principalmente atribuída a forças de Van der Waals, sendo o tamanho dos poros do gel ou a distância sólido-sólido ao redor de $18\text{\AA}$. O modelo Feldman-Sereda representa a estrutura do C-S-H como sendo composta de um arranjo irregular e dobrado de camadas ao acaso, de modo a formar espaços interlamelares de forma e tamanhos diferentes (5 a $25\text{\AA}$).

Hidróxido de cálcio: Cristais de hidróxido de cálcio (também chamado de portlandita) constituem 20 a 25% do volume de sólidos na pasta hidratada. Em contraste com o C-S-H, o hidróxido de cálcio é um composto com uma estequiometria definida de $Ca(OH)_2$. Comparado ao C-S-H, o potencial de contribuição do hidróxido de cálcio para a resistência devido a forças de Van der Waals é limitado, consequência de uma área específica consideravelmente menor. Além disso, a presença de uma quantidade considerável de $Ca(OH)_2$ no cimento portland hidratado tem um efeito desfavorável pela solubilidade do hidróxido de cálcio, muito maior do que a do C-S-H.

O $Ca(OH)_2$ dissolve-se até na água absorvida da umidade do ar e, vindo à superfície, em contato com o CO_2 do ar forma o $CaCO_3$. Este carbonato insolúvel dá eflorações brancas.

Sulfoaluminatos de cálcio: Os sulfoaluminatos de cálcio ocupam de 15 a 20% do volume de sólidos na pasta endurecida e, conseqüentemente, desempenham um papel menor nas relações estrutura-propriedades. Já foi estabelecido que durante os primeiros estágios da hidratação a relação iônica sulfato/alumina da solução favorece a formação de **etringita**, que se transforma eventualmente em monossulfato hidratado. A presença do monossulfato no concreto de cimento portland torna o concreto vulnerável ao ataque por sulfato (água do mar, águas selenitosas, etc.).

As reações químicas relevantes podem ser expressas como:



Obs.: Na água do mar, o sulfato de magnésio nela contido reage com o Ca(OH)_2 e resulta CaSO_4 , com conseqüente depósito de hidróxido de magnésio. Este sulfato de cálcio ocasiona expansão na massa do cimento e, juntamente com o existente na água do mar, combina-se com a alumina e dá o sal de Candlot (sulfoaluminato de cálcio insolúvel), o que agrava com o tempo a fragmentação do cimento portland comum.

Grãos de clínquer não hidratado. Dependendo da distribuição do tamanho das partículas de cimento anidro e do grau de hidratação, alguns grãos de clínquer não hidratados podem ser encontrados na microestrutura de pastas já hidratadas. (Considera-se geralmente que as partículas de cimento maiores do que $45\mu\text{m}$ são difíceis de hidratar e aquelas maiores do que $75\mu\text{m}$ nunca se hidratam completamente). Com a evolução da hidratação, primeiro são dissolvidas as partículas menores (i.e., desaparecem do sistema) e as partículas maiores tornam-se menores.

Dados obtidos na hidratação do cimento portland:

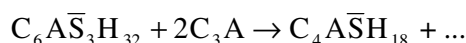
experiência:	100g de cimento e 42g de água
Massa do cimento seco	100g
Volume absoluto do cimento seco.....	$31,8\text{cm}^3$
Massa de água combinada.....	23% em peso
Volume de água do gel.....	19cm^3
Água total na mistura.....	42cm^3
Relação água/cimento em massa.....	0,42
Volume do cimento hidratado.....	$67,9\text{cm}^3$
Volume inicial do cimento e água.....	$73,8\text{cm}^3$
Poros capilares e vazios.....	$5,9\text{cm}^3$

Obs.: Hidratação realizada em tubo de ensaio lacrado.

PEGA E ENDURECIMENTO

Mecanismo de retardo da pega pela gipsita:

A reação do C_3A com a água é imediata e tornaria o cimento portland sem utilidade para a maioria dos propósitos de construção, caso não fosse utilizada a gipsita. A solubilidade do C_3A é diminuída na presença de íons sulfato, hidroxila e álcalis. Dependendo da concentração do aluminato e dos íons sulfato na solução, o produto cristalino de precipitação é o trissulfoaluminato de cálcio hidratado que, posteriormente se transforma em monossulfoaluminato de cálcio hidratado por reação com mais C_3A . O trissulfoaluminato cristaliza-se como pequenas agulhas prismáticas e é também denominado **alto sulfato** ou pela designação mineralógica **etringita**. A etringita cristaliza-se devido à elevada relação sulfato/aluminato na fase aquosa durante a primeira hora de hidratação. Mais tarde, depois do sulfato da solução ter sido consumido quando a concentração de aluminatos se eleva novamente devido à renovação da hidratação do C_3A e do C_4AF , a etringita torna-se instável e é gradativamente convertida em monossulfato, que é o produto final da hidratação dos cimentos portland que contêm mais de 5% de C_3A :



Esse monossulfato torna o concreto vulnerável ao ataque por sulfato, formação do sal de Candlot que é expansivo.

Fatores que influenciam a duração da pega:

a) Cimentos ricos em C_3A dão pega mais rapidamente. Corrige-se esse tempo de início de pega pela adição de gesso, retardando-o.

b) A duração da pega varia na razão direta do grau de moagem, cimentos finos dão **início de pega** mais rápidos e **fim de pega** mais demorados.

c) A quantidade de água sendo maior provocará menores tempos de **início de pega**.

d) O aumento da temperatura diminui o tempo da pega.

e) Temperaturas próximas de 0°C retardam as reações, e pouco abaixo desse valor as paralisam. A -1°C a pega não se dá (a pasta congela)

f) Os produtos que aumentam a velocidade de dissolução (aumentam a solubilidade dos constituintes do cimento) são aceleradores. Já os que dificultam a dissolução são retardadores.

Aceleram a pega:

Cloreto de Cálcio ($>0,5\%$)

Cloreto de Sódio

Potassa e Soda.

retardam-na:

Gesso, Carbonato de Sódio,

Óxido de Zinco, açúcar

bórax, Ácido Fosfórico.

Obs.: Na prática, ao se necessitar alterar a pega do cimento, ou outra propriedade qualquer, é aconselhável utilizar produtos específicos (aditivos) já existentes no mercado por terem sido alvo de estudos prévios de dosagem pelos próprios fabricantes.

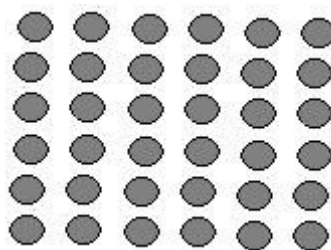
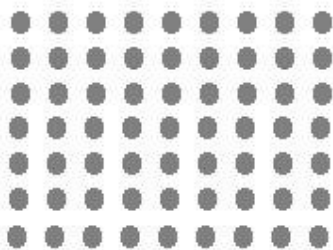
FINURA DO CIMENTO : (GRAU DE MOAGEM)

Além da composição, a finura do cimento influencia a sua reação com a água. Haverá uma taxa de reatividade maior e, portanto, maior velocidade no ganho de resistência.

A hidratação se faz da superfície para o interior dos grãos, assim sendo, o grau de moagem influirá sobre a **rapidez da hidratação** e, conseqüentemente, sobre o **desenvolvimento de calor, retração e aumento da resistência com a idade**.

Como ordem de grandeza, pode-se citar que a água age a $0,5\mu\text{m}$ de profundidade nas primeiras 24 horas, $2\mu\text{m}$ na primeira semana e $4\mu\text{m}$ no primeiro mês.

(o grão de cimento tem $\approx 30\mu\text{m}$ de diâmetro médio).

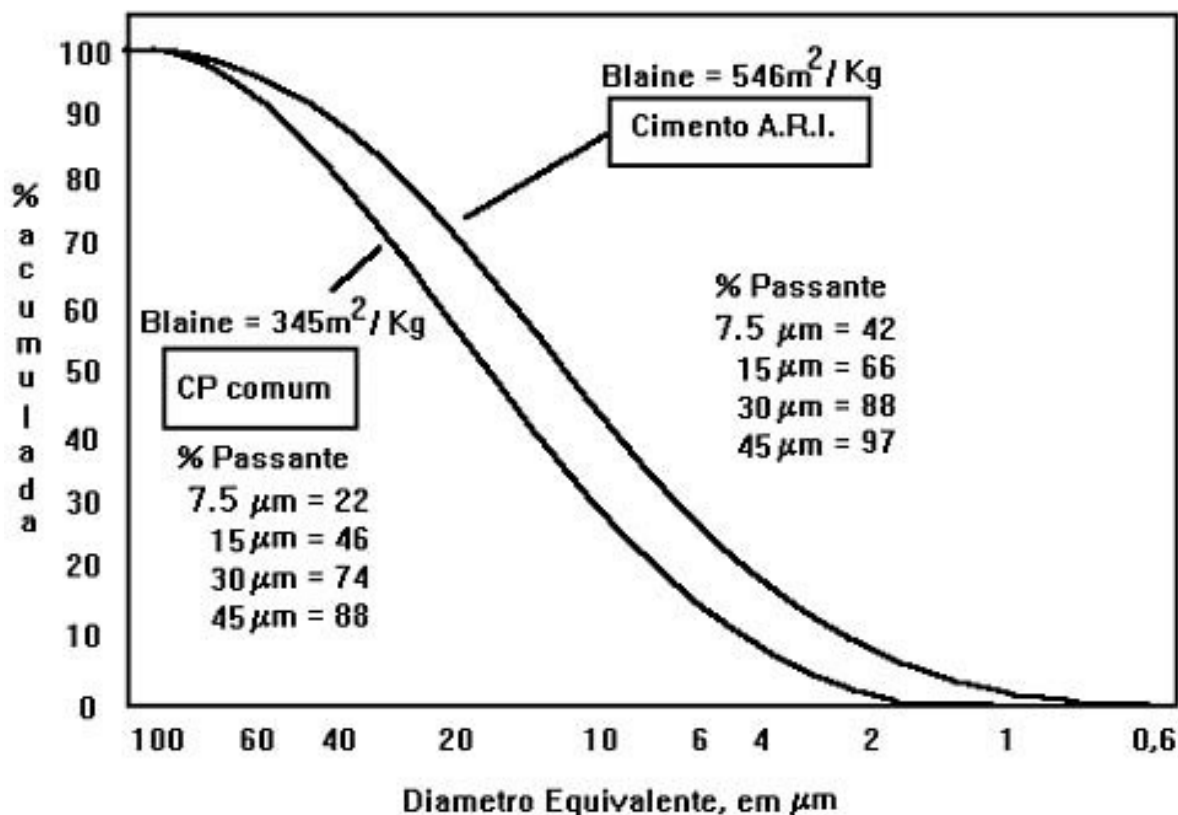


“Um cimento mais fino possui maior número de grãos por unidade de massa, com isso, para uma mesma dosagem de cimento por unidade de volume de concreto, haverá maior número de partículas reagindo com a água ao mesmo tempo, e tudo acontecerá com maior intensidade”. Porém, o custo da moagem e o calor liberado na hidratação estabelecem alguns limites para a finura. Para a finalidade de controle da qualidade na indústria de cimento, a finura é facilmente determinada como resíduo em peneiras padrão como as malhas #200 ($75\mu\text{m}$) e #375 ($44\mu\text{m}$). Considera-se geralmente que as partículas de cimento maiores do que $45\mu\text{m}$ são difíceis de hidratar e aquelas maiores do que $75\mu\text{m}$ nunca se hidratam completamente. Entretanto, uma estimativa das taxas relativas de reatividade dos cimentos com composição similar não pode ser feita sem o conhecimento da distribuição granulométrica completa através de métodos de sedimentação.

Uma vez que a determinação da distribuição granulométrica por sedimentação é também trabalhosa e requer equipamentos caros, é uma prática comum na indústria obter uma medida relativa da distribuição

granulométrica pela determinação da área específica do cimento pelo método Blaine de permeabilidade ao ar (MB-348 ou NBR 7224).

Dados típicos da distribuição granulométrica e da área específica Blaine para duas amostras de cimento portland são mostrados na figura abaixo:



Obs.: Dependendo da composição específica do cimento, modificando-se a área específica de 320 para 450 m²/Kg Blaine, é possível aumentar a resistência à compressão da argamassa de cimento com 1, 3 e 7 dias de aproximadamente 50 a 100, 30 a 60 e 15 a 40 por cento, respectivamente.

ESTABILIDADE DE VOLUME

Num cimento estável, nenhum de seus compostos sofre, após endurecimento, expansão prejudicial e destrutiva.

A cal e a magnésia, livres e cristalizadas, se se hidratam sem dissolução prévia, passam a um estado pulverulento com marcada expansão.

Os trabalhos de Lerch e Taylor puseram em evidência ser o periclásio, magnésia cristalizada, o responsável pela expansão excessiva, não tendo qualquer contribuição a magnésia dissolvida.

Aceita-se, hoje, ser de 2% o teor máximo permissível de MgO em cristais de periclásio, para prevenir a instabilidade de volume.

A expansibilidade pode ser medida pelas agulhas de Le Chatelier, impreciso, mas de fácil execução; ou em autoclaves (215°C e 2,07 MPa).

CALOR DE HIDRATAÇÃO

Os compostos do cimento portland são produtos de reações a altas temperaturas que não estão em equilíbrio e por isso estão em um estado de energia elevado. Quando um cimento é hidratado, os compostos reagem com a água para atingir estados estáveis de baixa energia, e o processo é acompanhado pela liberação de energia na forma de calor.

Em outras palavras, as reações de pega e endurecimento dos cimentos são exotérmicas com elevação da temperatura da massa. O significado do calor de hidratação do cimento em tecnologia do concreto é múltiplo, pode muitas vezes ser um problema (por exemplo em estruturas de concreto massa, de grandes volumes), e outras vezes ser um auxílio (concretagem em temperaturas muito baixas).

A quantidade de calor liberada é função da composição do clínquer e é expresso em calorias por grama.

Os processos usados para medir o calor de hidratação são:

- Pela medida da diferença entre os dois valores do calor de dissolução de duas amostras de cimento, uma anidra e outra hidratada, numa mistura de ácidos fluorídrico e nítrico.
- Processo da garrafa thermos (tem como vantagem permitir leituras contínuas com a mesma amostra)
- Método da garrafa térmica de Lagavant.

Ordem de grandeza do calor de hidratação para portland comum:

até 3 dias	⇒ 41 a 90 cal/g	≅ 50% do total
7 dias	⇒ 46 a 97 cal/g	
28 dias	⇒ 61 a 109 cal/g	≅ 90% do total
90 dias	⇒ 72 a 114 cal/g	
180 dias	⇒ 74 a 116 cal/g	100% do total

A redução do calor de hidratação do cimento pode ser conseguida por:

- redução do teor de C_3A e C_4AF
- redução do teor de C_3S
- adição de escórias ou pozolanas
- uso de um retardador de pega.

CALORES DE HIDRATAÇÃO DOS COMPOSTOS DO CIMENTO

Compostos	Calores de hidratação a uma dada idade (cal/g)		
	3 dias	90 dias	13 anos
C_3S	58	104	122
C_2S	12	42	59
C_3A	212	311	324
C_4AF	69	98	102

Uma vez que o calor de hidratação do cimento é uma propriedade aditiva e que depende da composição do clínquer pode-se predizê-lo por expressão do tipo $H = a.A + b.B + c.C + d.D$, onde H representa o calor de hidratação a uma dada idade; a, b, c e d são coeficientes que representam a contribuição de 1% dos compostos do clínquer. A, B, C, e D são as porcentagens dos respectivos compostos no clínquer. Os valores dos coeficientes serão diferentes para as várias idades de hidratação.

RESISTÊNCIA AOS ESFORÇOS MECÂNICOS:

O ensaio mais utilizado para a verificação da resistência mecânica é o de compressão uniaxial (o concreto é um material frágil).

A necessidade de qualificação do cimento obedece a duas razões:

a) Seleção pela qualidade (Há vários tipos e vários fabricantes)

b) Conhecimento prévio do comportamento do cimento em argamassas e concretos.

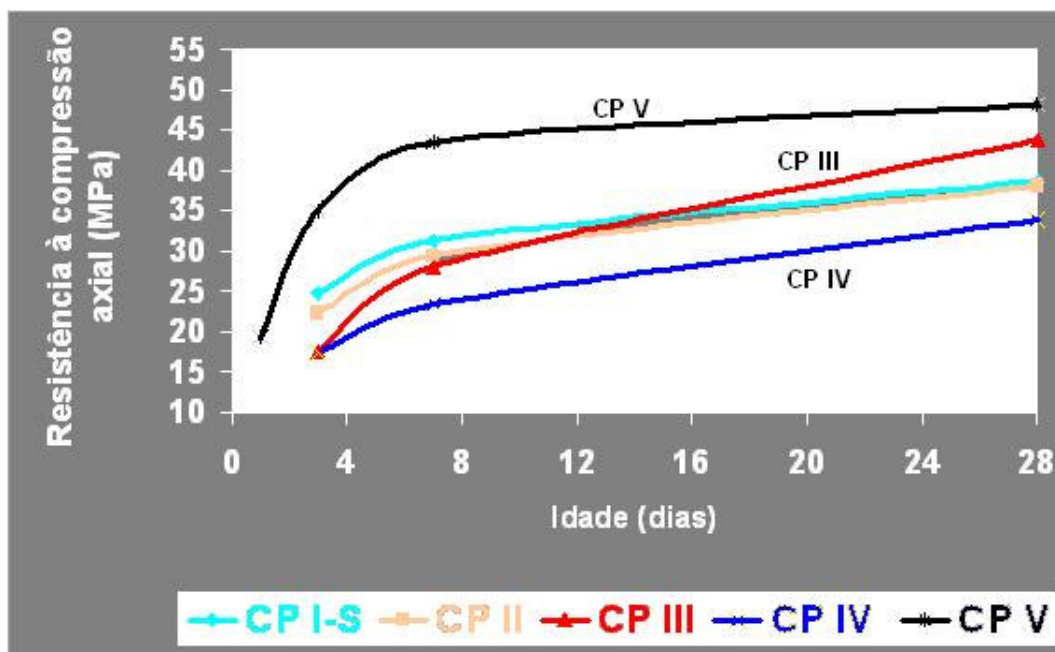
Para o caso b, o ensaio da pasta pura não é representativo porque a quantidade de água de amassamento é muito diferente da necessária para argamassas e concretos e a pasta tem leis de variação da resistência com o tempo diversas da do cimento adicionado a um agregado. O ensaio diretamente em concreto seria muito dispendioso, além de introduzir mais uma variável, que é o agregado graúdo, complicando a uniformidade do ensaio. O ensaio sob a forma de argamassa é o escolhido porque é mais representativo do que a forma em pasta e mais econômico do que a forma em concreto.

Tipos de Cimento

				Componentes [% em Massa]			
Título da Norma	Denominação	Sigla	Classe [MPa]	Clínquer +Sulfato de Cálcio	Escória Granul. A. F.	Material Pozolânico	Material Carboná-tico
CP comum	CP comum	CPI	25 32	100	-	-	-
	CP comum + adição	CPI-S	40	99-95	1-5		
CP composto	CP composto com escória	CPII-E	25	94-56	6-34	-	0-10
	CP composto com Pozolana	CPII-Z	32	94-76	-	6-14	0-10
	CP composto com Filer	CPII-F	40	94-90	-	-	6-10
CP de alto forno	CP de alto forno	CPIII	25/32/40	65-25	35-70	-	0-5
CP pozolânico	CP pozolânico	CPIV	25/32	85-45	-	15-50	0-5
CP de alta resistência inicial	CP de alta resistência inicial	CPV-ARI	Mín. de 34 MPa Aos 7 dias	100-95	-	-	0-5
Classe de Resistência [25,32,40] ; A medida da Resistência à compressão dos cimentos brasileiros é o MegaPascal [MPa] - 1 MPa = 10,197 kgf / cm ² ou 1 MPa = 10 kgf / cm ²							

Obs.: Existem ainda os seguintes tipos de cimento portland:

Resistente a Sulfatos (RS), Baixo Calor de Hidratação (BC), Branco Estrutural (CPB).



OUTRAS CARACTERÍSTICAS DOS CIMENTOS:

- O cimento ARI (alta resistência inicial) deve apresentar finura maior que os demais (máx. de 6% retido na peneira 200# e área específica >300m²/Kg).
- O portland composto é apresentado nas versões CP II-E com até 34% de escória, CP II-Z com até 14% de pozolana e CP II-F que é simples, mas todos possuem ainda até 10% de Filler.
- O cimento ARS (alta resistência aos sulfatos) só é apresentado na classe 20 (20MPa de resistência à compressão no ensaio normal).
- O cimento CP III (alto forno) deve apresentar teor de escória entre 35 e 70% da massa total do aglomerante, com a escória de AF obedecendo à relação:

$$\frac{\text{CaO} + \text{MgO} + \text{Al}_2\text{O}_3}{\text{SiO}_2} > 1$$
- O portland pozolânico deve conter teores de materiais pozolânicos compreendidos entre 15 e 50% da massa total do cimento.

São materiais pozolânicos: cinzas vulcânicas, argilas calcinadas, cinzas volantes, microsílica (sílica micro pulverizada expelida pelos fornos de produção de ferro-silício) e outros como escórias siderúrgicas ácidas, rejeito sílico-aluminoso do craqueamento do petróleo, cinzas de resíduos vegetais e rejeito de carvão mineral. A atividade pozolânica deve ser testada pela NBR 5753 e se caracteriza pela reatividade do material com o Ca(OH)_2 em presença da água.

- Moderada Resistência aos sulfatos → teor de $\text{C}_3\text{A} < 8\%$
Alta Resistência aos sulfatos → teor de $\text{C}_3\text{A} < 5\%$

A REAÇÃO POZOLÂNICA E O SEU SIGNIFICADO:

Com relação à reação principal de formação de **C-S-H**, é útil uma comparação entre cimento portland comum e cimento pozolânico com a finalidade de compreenderem-se as razões para as diferenças entre os seus comportamentos:

Cimento Portland	Cimento Portland Pozolânico
RÁPIDA	LENTA
$C_3S + H \rightarrow C-S-H + CH$	$Pozolana + CH + H \rightarrow C-S-H$

A reação entre a pozolana e o hidróxido de cálcio é chamada **reação pozolânica**. A importância técnica dos cimentos pozolânicos (e dos cimentos de alto-forno) deriva principalmente de três aspectos da reação pozolânica. Primeiro, a reação é lenta, e portanto, a taxa de liberação de calor e de desenvolvimento da resistência serão conseqüentemente lentas. Segundo, a reação consome hidróxido de cálcio, ao invés de produzi-lo o que representa uma contribuição importante para a durabilidade do concreto frente a meios ácidos. Terceiro, estudos sobre a distribuição do tamanho dos poros dos cimentos pozolânico e AF hidratados mostraram que os produtos da reação são bastante eficientes no preenchimento dos espaços capilares grandes, melhorando assim a resistência e diminuindo a permeabilidade do sistema.

APLICAÇÕES DOS TIPOS DE CIMENTO

Cimento Portland comum CPI e CPI-S (NBR 5732)

Ambos os tipos do cimento portland comum são usados em serviços de construção em geral, quando não são exigidas propriedades especiais do cimento. Não devem ser utilizados quando há exposição a sulfatos do solo ou de águas subterrâneas. (O cimento CPI-S difere do anterior porque possui adições de 5% em massa. Essas adições podem ser de material pozolânico, ou de escória granulada de alto-forno, ou de filer calcário).

Cimento Portland Composto CP II-Z (com material pozolânico - NBR11578)

O cimento portland composto gera calor numa velocidade menor do que aquela gerada pelo cimento portland comum. Seu uso, portanto, é recomendado em lançamentos maciços de concreto, em que o grande volume da concretagem e a superfície relativamente pequena reduzem a capacidade de resfriamento da massa. Esse cimento também apresenta melhor resistência ao ataque dos sulfatos contidos no solo (essa característica se aplica também aos compostos CP II-E e CII-F). É empregado não só em obras em geral, subterrâneas, marítimas e industriais, como também para produção de argamassas, concreto simples, armado e protendido, elementos pré-moldados e artefatos de cimento. O concreto feito com esse produto é menos permeável e, por isso, mais durável.

Cimento Portland Composto CP II-E (com escória granulada de alto forno - NBR11578)

O cimento Portland Composto CII-E é a composição intermediária entre o cimento portland comum e o cimento portland de alto-forno. É recomendado para estruturas que exigem um desprendimento de calor moderadamente lento ou que possam ser atacadas por sulfatos.

Cimento Portland Composto CP II-F (com adição de filer calcário - NBR 11578)

Além de servir para aplicações gerais, o cimento portland composto CII-F pode ser usado no preparo de argamassas de assentamento, revestimento, argamassa armada, concreto simples, armado, protendido, projetado, rolado, magro, concreto-massa, elementos pré-moldados e artefatos de concreto, pisos e pavimentos de concreto e solo-cimento, dentre outros.

Cimento Portland de Alto Forno CP III (com 35% a 70% de escória - NBR 5735)

O cimento Portland de Alto Forno CP III apresenta maior impermeabilidade e durabilidade, além de baixo calor de hidratação e alta resistência à expansão devido à reação álcali-agregado, além de ser resistente a sulfatos. É um cimento que pode ter aplicação geral em argamassas de assentamento, revestimento, argamassa armada, de concreto simples, armado, protendido, projetado, rolado, magro e outras. É também recomendado para uso em obras de concreto-massa, tais como barragens, peças de grandes dimensões, fundações de máquinas, pilares, obras em ambientes agressivos, tubos e canaletas para condução de líquidos agressivos, esgotos e efluentes industriais, concretos com agregados reativos, pilares de pontes ou obras submersas, pavimentação de estradas e pistas de aeroportos.

Cimento Portland Pozolânico CP IV (com pozolana NBR 5736)

Pode ser utilizado em obras correntes, mas é especialmente indicado em obras expostas à ação de água corrente e ambientes agressivos. O concreto feito com esse produto se torna mais impermeável, mais durável, apresentando resistências mecânicas à compressão superiores às de concretos feitos com cimento portland comum a idades avançadas. Apresenta características particulares que favorecem sua aplicação em casos de grande volume de concreto, devido ao baixo calor de hidratação desprendido.

Cimento Portland CP V ARI (Alta Resistência Inicial - NBR 5737)

Com valores aproximados de resistência à compressão de 26 MPa a um dia de idade e de 53 MPa aos 28 dias, que superam em muito os valores normativos de 14 MPa, 24 MPa e 34 MPa para 1, 3 e 7 dias, respectivamente, o CP V ARI é recomendado no preparo de concreto e argamassa para produção de artefatos de cimento em indústrias de médio e pequeno porte, como fábricas de blocos de alvenaria, blocos para pavimentação, tubos, lajes, meio-fio, mourões, postes, elementos arquitetônicos pré-moldados e pré-fabricados. Pode ser utilizado no preparo de concreto e argamassa em obras desde as pequenas construções até as edificações de maior porte e em todas as aplicações que necessitem de resistência inicial elevada e desforma rápida. O desenvolvimento dessa propriedade é conseguido pela utilização de uma dosagem diferente de calcário e argila na produção do clínquer (que resulta em elevação dos conteúdos de alita e C_3A), e pela moagem mais fina do cimento. Assim, ao reagir com a água, o CP V ARI adquire elevadas resistências, com maior velocidade.

Cimento Portland CP (RS) – (Resistente a sulfatos – NBR 5733)

O cimento CP-RS oferece resistência aos meios agressivos sulfatados, como redes de esgotos de águas servidas ou industriais, água de mar, e a alguns tipos de solos. Pode ser usado em concreto dosado em central, concreto de alto desempenho, obras industriais e de recuperação estrutural, concretos projetados, concreto armado e protendido, elementos pré-moldados, pisos industriais, pavimentos, argamassa armada, argamassas e concretos submetidos ao ataque de meios agressivos, como estações de tratamentos de água e esgotos, obras em regiões litorâneas, subterrâneas e marítimas. De acordo com a norma NBR5737 (ABNT, 1992), os cinco tipos básicos de cimento – CP I, CP II, CP III, CP IV, e CP V-ARI – podem ser resistentes aos sulfatos, desde que atendam a pelo menos uma das seguintes condições:

- teor de aluminato tricálcico (C_3A) do clínquer e teor de adições carbonáticas de no máximo 8% e 5% em massa, respectivamente;
- cimentos do tipo alto-forno que contiverem entre 60% e 70% de escória, em massa;
- cimentos pozolânicos que contiverem entre 25% e 40% de material pozolânico, em massa;
- cimentos que tiverem antecedentes de resultados de ensaios de longa duração ou de obras que comprovem resistência aos sulfatos.

Cimento Portland de Baixo Calor de Hidratação (BC) – NBR 13116

O cimento portland de Baixo Calor de Hidratação (BC) é designado por siglas e classes de seu tipo acrescidas de BC. Por exemplo: CPIII-32 (BC) é o Cimento Portland de Alto-Forno com baixo calor de hidratação, determinado pela sua composição. Esse tipo de cimento tem a propriedade de retardar o desprendimento de calor em peças de grande massa de concreto, evitando o aparecimento de fissuras de origem térmica, devido ao calor desenvolvido durante a hidratação do cimento.

Cimento Portland Branco CPB - (NBR 12989)

O cimento portland branco se diferencia por coloração e está classificado em dois subtipos: estrutural e não estrutural. O estrutural é aplicado em concretos brancos para fins arquitetônicos, com classes de resistência 25, 32 e 40, similares às dos demais tipos de cimento. Já o não estrutural não tem indicações de classe e é aplicado, por exemplo, em rejuntamento de azulejos e em aplicações não estruturais. Pode ser utilizado nas mesmas aplicações do cimento cinza. A cor branca é obtida a partir de matérias-primas com baixos teores de óxido de ferro, em condições especiais durante a fabricação, tais como resfriamento e moagem do produto e, principalmente, utilizando o caulim no lugar de argila. O índice de brancura deve ser maior que 78%. Adequado aos projetos arquitetônicos mais ousados, o cimento branco oferece a possibilidade de escolha de cores, uma vez que pode ser associado a pigmentos coloridos.

ENSAIOS DE RECEPÇÃO DO CIMENTO

A - **Finura** (peneiras #200, #325 e área específica Blaine);

B - **Início e Fim de Pega**

C - **Expansibilidade** (estabilidade de volume)

D - **Resistência à Compressão**

Cujos valores mínimos e máximos são prescritos pelas normas que especificam cada tipo de cimento. Como exemplo, seguem abaixo os valores da EB-1 (NBR 5732) que especifica o cimento portland comum:

A - **Finura:**

1 - peneira 200# (0,075mm) NBR11579: Cimento Portland - Determinação da finura por meio da peneira 75 micrômetros (número 200)

classes: 25 e 32 máx 12%

classe : 40 máx 10%

2 - área específica Blaine - NBRNM76: Cimento Portland - Determinação da finura pelo método de permeabilidade ao ar (Método de Blaine)

tipo 25 $\geq 240\text{m}^2/\text{Kg}$

tipos 32 e 40 $\geq 260\text{m}^2/\text{Kg}$

Obs.: O princípio desse método consiste em passar o ar através de uma camada de cimento de porosidade conhecida. Considera-se que o número e o tamanho dos poros da camada são função do tamanho das partículas e de sua distribuição granulométrica, e determinam a velocidade com que a camada será atravessada pelo ar. O ensaio é feito por comparação usando-se uma amostra padrão de área específica conhecida, fornecida pela ABNT. (ou pela ABCP-Associação Brasileira de Cimento Portland).

B - **Pega** (NBRNM65: Cimento portland - Determinação dos tempos de pega)

Tempo de início de pega ≥ 1 hora

Tempo de fim de pega ≤ 10 horas (facultativo)

C - **Expansibilidade** : (agulhas de Le Chatelier)

Expansão após 7 dias em água fria ≤ 5 mm (influência do MgO livre)

Expansão por imersão em água quente ≤ 5 mm (influência do CaO livre)

D - **Resistência à Compressão:** (valores em MPa)

	classe 25	classe 32	classe 40
a 3 dias - (mínimo de)	8	10	14
a 7 dias - (mínimo de)	15	20	24
a 28 dias - (mínimo de)	25	32	40

O ensaio é regido pela NBR7215 e executado na argamassa no traço 1:3, em peso, em corpos de prova cilíndricos de base 5 cm e altura 10 cm. A argamassa normal deve ser preparada com a quantidade de água igual a 48% da quantidade de cimento. A areia normal tem 4 frações iguais com material retido nas peneiras

0,15 - 0,30 - 0,60 e 1,2mm , respectivamente. A areia normal é coletada nas cabeceiras do rio Tietê em São Paulo; preparada e vendida somente pelo IPT (Instituto de Pesquisas Tecnológicas da USP).

Moldam-se 3 séries de 4 corpos de prova cada para serem ensaiados a 3, 7 e 28 dias de idade. Para que o ensaio em qualquer das séries seja aprovado é necessário que o Desvio Relativo Máximo (DRM) seja inferior a 6%.

$$DRM = \frac{|F_i - F_m|}{F_m} \times 100 \leq 6\%$$

F_m = valor médio (dos 4, ou apenas 3 corpos de prova)

F_i = valor mais afastado em relação à média considerada.

Observação:

Quando a série não é aprovada com os quatro corpos de prova, abandona-se o resultado mais afastado e refazem-se os cálculos com os três corpos de prova restantes. Se ainda assim não for atendida a fórmula acima, o ensaio não foi aprovado, devendo ser refeito.

Obs.: Só após a aprovação do ensaio, pode-se verificar a aprovação da própria amostra; o que é feito comparando-se a média adotada com o mínimo especificado na norma de especificação correspondente.

CIV 237- ENSAIO DE PEGA DO CIMENTO PORTLAND

Importância do ensaio:

Pega do cimento: fenômeno cuja duração inicial é controlada pela adição de $\cong 5\%$ de gesso ao clínquer na fabricação do cimento.

“A inclusão da gipsita no cimento é para que ocorra a sua reação com o C_3A formando uma capa de etringita (trisulfoaluminato de cálcio hidratado) envolvendo os grãos de aluminato e impedindo momentaneamente a continuidade da sua hidratação, retardando a pega”.

Ver ainda: “Mecanismo de retardo da pega pela gipsita” - Apostila Pg.: 49

DETERMINAÇÃO DOS TEMPOS DE INÍCIO E FIM DE PEGA **(NBRNM 65)**

Ao se amassar água com cimento obtém-se uma pasta plástica, facilmente trabalhável. No decorrer do tempo, essa pasta começa a perder plasticidade.

Esta característica é importante pois dá idéia do tempo disponível para misturar, transportar, lançar e adensar concretos e argamassas, bem como transitar sobre eles ou molhá-los para execução da cura.

O tempo que decorre desde a adição da água até o início das reações com os compostos do cimento é denominado **início de pega** ou seja, o instante em que não se pode mais aplicar o concreto ou argamassa.

O **fim de pega** ocorre quando a pasta torna-se rígida, indeformável.

Antes da determinação dos tempos de pega do cimento, deve ser feita a determinação da água da pasta de consistência normal (**NBRNM 43**) que é feita da seguinte maneira:

Massa da amostra de cimento $\Rightarrow$ 500g

Massa de água $\Rightarrow$ determinada por tentativas, de modo que a sonda de Tetmajer (300g de peso e $\phi 10\text{mm}$) **estacione a 6mm do fundo do molde normal** (tronco de cone com diâmetro interno superior igual a 70mm e inferior igual a 80mm, espessura de 8mm e altura de 40mm).

Após a mistura, que é feita em um misturador mecânico (argamassadeira) por um tempo de 4min, coloca-se a pasta no interior do molde, aplicando-se a sonda de Tetmajer sem choque e sem velocidade inicial até

que a pasta ofereça uma resistência a esta penetração tal que ela **estacione a 6mm ±1mm do fundo do molde**. Diz-se aí que a pasta possui **consistência normal**.

Obtida a quantidade de água da pasta de consistência normal procede-se uma nova mistura, marcando-se a hora em que foi lançada a água ao cimento, para se determinar assim, os tempos de início e fim de pega, através da penetração da agulha de Vicat (300g e 1,1 mm de diâmetro) também sem choque e sem velocidade inicial, até que ela estacione a 4±1 mm do fundo do molde, momento este em que ocorre o **início de pega**. O tempo que decorre desde o lançamento da água de amassamento até quando a agulha de Vicat, aplicada suavemente sobre a superfície da pasta de cimento, não deixa vestígios ou marcas, define o chamado **fim de pega**.

Resumindo:

Pega		I ⇒ Endurecimento
I ⇒	I	I
t_0	t_1	t_2
Origem da contagem do tempos (momento em que a água entra em contato com o cimento).	Momento em que a agulha de Vicat estaciona a 4±1 mm do fundo do molde.	Momento em a agulha de Vicat não mais penetra e nem deixa vestígios na pasta de cimento.

$t_1 - t_0 \Rightarrow$ tempo do início de pega $t_2 - t_0 \Rightarrow$ tempo de fim de pega

Obs. : Segundo as especificações brasileiras, os cimentos devem apresentar tempo de início de pega $\geq$ a 1 hora, e tempo de fim de pega menor ou igual a 10 horas (sendo esta uma especificação facultativa).

ENSAIOS DE FINURA DO CIMENTO PORTLAND

1 - DETERMINAÇÃO DA FINURA POR MEIO DA PENEIRA 75µm (n° 200) (MB-3432 = NBR 11579)

2 - DETERMINAÇÃO DA ÁREA ESPECÍFICA BLAINE (NBR NM 76)

Importância da finura:

O contacto da água com os componentes do cimento se dá na superfície dos grãos, hidratando-os, paulatinamente, em direção ao interior. Um cimento mais fino possui maior número de grãos por unidade de massa, ou seja, possui maior área específica. Com isso, a água encontrará muito maior área de contacto e a reação se fará com maior intensidade, resultando, assim, em maior resistência mecânica, maior liberação de calor e, também, maior tendência à retração.

Resumindo:

“A forma mais sadia de se aumentar a resistência de um cimento é torná-lo mais fino”.

Dois são os métodos utilizados para a determinação do grau de moagem ou finura do cimento. O peneiramento (peneiras 200# ou 325#) e por permeabilidade ao ar.

1 - PENEIRAMENTO COM A PENEIRA N° 200 (# 0,075mm de lado)

A finura é dada pela porcentagem do material que não passa na peneira n° 200 durante o ensaio,

$$IF = \frac{R}{P} \times 100$$

onde, IF = índice de finura em %

R = resíduo na peneira depois de encerrado o peneiramento

P = massa inicial da amostra = 50g ± 0,05g

Peneiramento:

É feito na peneira #200 provida de fundo e tampa por um tempo entre 12 e 15 minutos. Pode ser considerado completo quando, após 1min de peneiramento manual contínuo, estiver passando pela peneira menos que 0,05g, ou seja, menos que 0,1% da massa inicial da amostra.

Obs.: o índice de finura será a média de duas determinações.

Exemplo: $P = 50g$
 $R = 0,82g$
 $IF = 0,82/50 \times 100 = 1,64\%$

Chechagem dos Resultados: Pela EB 2138, que especifica o cimento CP II E 32 , $IF \leq 12\%$
 Como $1,62\% < 12\% \Rightarrow$ aprovado

Obs.: pode-se também utilizar a peneira nº 325 com $45\mu m$ de abertura de malha

2 - DETERMINAÇÃO DA ÁREA ESPECÍFICA BLAINE:

No permeabilímetro de Blaine, considera-se que o número e o tamanho dos poros de uma amostra de dada densidade dependem do tamanho das partículas e têm a ver com a sua distribuição granulométrica.

Este processo utiliza a permeabilidade ao ar da camada de material (cimento ou qualquer outro pó) com porosidade conhecida ($\varepsilon = 0,5$) e baseia-se na comparação dos tempos gastos pelo ar para atravessar, ora uma amostra padrão fornecida pela ABCP, ora a amostra do ensaio em questão.

$$\text{A área específica é dada por: } Am = \frac{K \sqrt{\varepsilon^3} \cdot \sqrt{t}}{\gamma(1 - \varepsilon) \sqrt{\eta}}$$

onde : A_m = área específica em massa

K = constante do aparelho, obtido na calibração

ε = porosidade da camada;

t = tempo em segundos;

γ = massa específica do cimento;

η = viscosidade do ar no momento do ensaio (varia com a temperatura) e é tabelada

$$\text{calibração} \Rightarrow K = \frac{\gamma_p (1 - \varepsilon_p) \sqrt{\eta_p}}{\sqrt{\varepsilon_p^3} \sqrt{t_p}}$$

Obs.: as grandezas aqui são as mesmas; o índice p se refere à amostra padrão

Ensaio:

Determinação da massa de material que formará a amostra $\Rightarrow m = \gamma V(1 - \varepsilon)$

Onde V = volume da camada de material (no nosso aparelho $V = 1,851 \text{ cm}^3$)

Operação:

- Ao tubo em “U” do aparelho, acopla-se a célula, já com a amostra de cimento.
- Promove-se uma sucção no líquido manométrico, fazendo-o chegar ao nível 1 do tubo;
- Do nível 1 ao nível 2 haverá uma regularização do fluxo de ar na camada ensaiada;
- Do nível 2 ao nível 3 faz-se a tomada do tempo t (tempo gasto pelo ar para atravessar a amostra);
- O nível 4 é o nível de equilíbrio manométrico (repouso)

$\Rightarrow$ O tempo adotado será a média de duas determinações.

⇒ Calcula-se A_m e confere-se o resultado na norma EB correspondente.

DETERMINAÇÃO DA RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO DO CIMENTO PORTLAND

1 - Importância

A resistência aos esforços mecânicos é considerada a mais importante característica de um cimento. As especificações fixam os valores mínimos para essa característica. O ensaio de resistência à compressão é adotado como aquele que é o principal indicador dessa resistência mecânica;

Este ensaio é aplicável em muitas situações, como:

- Possibilitar o conhecimento prévio do comportamento do cimento em argamassas e concretos;
- Possibilitar a comparação de qualidade entre componentes;
- Aplicação em grande número de pesquisas.
- Selecionar o cimento pela sua qualidade

2 - Porque se usa argamassa:

O ensaio em pasta pura não é representativo:

- 1- O cimento é muito pouco usado na forma de pasta;
- 2- A relação água/cimento é muito diferente daquela usada comumente em argamassas e concretos;
- 3- O ganho de resistência com o tempo para pastas é também diferente das outras aplicações.

O ensaio na forma de concreto é antieconômico e seria duvidoso tecnicamente:

- 1- Um corpo de prova padrão de concreto é 27 vezes maior que um de argamassa;
- 2- Na forma de concreto seria necessário controlar, também, a variável agregado graúdo.

3 - O ensaio em si

Utilizam-se corpos de prova cilíndricos de 5cm de base e 10cm de altura moldados em argamassa de traço 1:3 em massa e relação água/cimento igual a 0,48.

- É utilizada uma areia que é controlada em termos mineralógicos e granulométricos, lavada, e sem impurezas que pudessem afetar a hidratação do cimento.

Como padrão é adotada uma areia preparada pelo IPT, coletada nas cabeceiras do rio Tietê em São Paulo e especificada pela NBR 7214 (ver composição granulométrica no quadro abaixo)

Granulometria da areia normal:

Material retido entre as peneiras...	% retido em peso	% acumulado
(fração grossa) 2,4 e 1,2	25	25
(fração média/grossa) 1,2 e 0,6	25	50
(fração média/fina) 0,6 e 0,3	25	75
(fração fina) 0,3 e 0,15	25	100
Módulo de Finura (MF)		2,50

3.1 - moldagem dos corpos de prova

3.1.1 – Quantidade de materiais (p/ 4 corpos de prova):

cimento $\Rightarrow$ 420g

areia normal $\Rightarrow$ 4 frações de 315g cada (total de 1260g)

água $\Rightarrow x = 0,48 = 201,6g$

Mistura mecânica:

- Colocar a água na argamassadeira;
- Adicionar todo o material sólido, já previamente misturado;
- Misturar na velocidade baixa por 30s;
- Misturar na velocidade alta por mais 30s;
- Executar repouso por 90s (sendo que nos primeiros 15s retira-se, com a uma espátula, todo o material que ficou aderido às paredes da cuba e da pá da misturadora);
- Encerrando, misturar na velocidade alta por mais 60s.

3.2 – Moldagem dos CP's

- Os moldes deverão estar previamente untados internamente com uma leve camada de óleo;
- Proceder a moldagem em 4 camadas, aplicando em cada uma 30 golpes com soquete normal;
- Após 24 horas da moldagem, desmoldar os CP's e colocá-los para cura imersos em água potável saturada de cal, no interior de câmara úmida. Retirá-los somente no dia da ruptura.

4 – Aprovação (ou não) do ensaio

O ensaio só será aprovado se o DRM (Desvio Relativo Máximo) para 3 ou 4 corpos de prova for $\leq 6\%$.

$$DRM_i = \frac{|F_i - F_m|}{F_m} \times 100$$

Onde: F_i = resultado mais afastado da média
 F_m = média dos resultados obtidos

Caso o DRM_4 seja $> 6\%$, abandona-se o resultado mais afastado e calcula-se nova média para os 3 resultados restantes $\Rightarrow$ determina-se o DRM_3

Se o $DRM_3 \leq 6\% \Rightarrow$ Ensaio Aprovado,

Se o $DRM_3 \geq 6\% \Rightarrow$ Repetir o ensaio !

5 – Aprovação (ou não) da amostra

Quando DRM_4 (ou DRM_3) $\leq 6\%$, adota-se como resistência daquele cimento a tensão média dos resultados válidos (em MPa) e compara-se esse valor com o valor mínimo que é especificado na EB correspondente ao tipo e classe do cimento (ou amostra) ensaiada.

Ou seja, $f_{cm,j} \geq f_{cj\min}$ AMOSTRA APROVADA!

AGREGADOS PARA CONCRETO

Agregados são **fragmentos de rochas**, popularmente, denominados como “**pedras**”. Fragmentos de rochas com **tamanho e propriedades adequadas** são utilizados em quase todas as **obras de infraestrutura civil**, como em **edificações, pavimentação, barragens e saneamento**. Estes materiais incluem, por exemplo, **blocos, pedras, pedregulhos, cascalhos, seixos, britas, pedriscos, areias, etc.** A faixa de tamanho destes fragmentos é bastante ampla, desde blocos com dezenas de centímetros, como os “**enrocamentos**” usados em barragens, até partículas milimétricas, como os “**agregados miúdos**” usados na confecção de concreto para a maioria das edificações.

1 - Especificação do Material: (NBR 7211)

1 Objetivo

2 Referências normativas

3 Definições:

3.1 Agregado Miúdo $4,75 \geq \phi > 0,150\text{mm}$ (150 μm)

3.2 Agregado Graúdo $75 \geq \phi > 4,75\text{mm}$

3.3 Série Normal e Série Intermediária: (ABNT)

(Dimensões em mm)

Série Normal	0,15	0,30	0,60	1,18	2,36	4,75	9,5	19	37,5	75		
Série Intermediária ⇒							6,3	12,5	25	31,5	50	63

3.4 Dimensão Máxima Característica (DMC): abertura da peneira, em milímetros, na qual o agregado apresenta uma porcentagem retida, acumulada, igual ou imediatamente inferior a 5% em massa.

3.5 Módulo de Finura: soma das porcentagens retidas, acumuladas, em massa de um agregado, nas peneiras da série normal, dividida por 100, ou:

$$MF = \frac{\Sigma (\%s \text{ acumuladas nas peneiras da série normal})}{100}$$

3.6 **Agregado Total**: conjunto formado pelos agregados miúdo e graúdo que compõem o concreto. Juntamente com o cimento, possibilitam ajustes na curva granulométrica do concreto que se pretende dosar. Os limites desta norma, quando se referem ao agregado total, devem atender aos critérios de ponderabilidade em massa entre esses mesmos agregados.

4 Requisitos gerais:

4.1 Os agregados devem ser compostos por **grãos minerais duros, compactos, estáveis, duráveis e limpos** e não devem conter substâncias que afetem a hidratação e o endurecimento do cimento, a proteção da armadura contra a corrosão, a durabilidade ou, quando for requerido, o aspecto visual externo do concreto.

O exame petrográfico realizado de acordo com a ABNT NBR 7389 e interpretado por profissional capacitado, fornece alguns dos subsídios necessários para o cumprimento destas condições. Para outras características, ver seções 5 e 6 desta norma.

4.2 Os agregados devem ser fornecidos ao consumidor em lotes cujas unidades parciais de transporte devem ser individualizadas, mediante uma guia de remessa na qual constem pelo menos os seguintes dados:

- a) nome do produtor;
- b) proveniência do material;
- c) identificação da classificação granulométrica de acordo com itens 5.1 e 6.1
- d) data do fornecimento.

5 Agregado miúdo

A amostra representativa de um lote coletada e reduzida de acordo com as normas NBR NM 26 e NBR NM 27, deve satisfazer os requisitos prescritos de 5.1 a 5.3.

Obs.: havendo duas ou mais origens considerar a participação % de cada fração.

5.1 Distribuição granulométrica

A distribuição granulométrica deve atender aos limites estabelecidos na tabela 2. Podem ser utilizados materiais com distribuição granulométrica diferente das zonas estabelecidas na tabela 2, desde que estudos prévios de dosagem comprovem sua aplicabilidade.

Tabela 2 – Limites da distribuição granulométrica do agregado miúdo

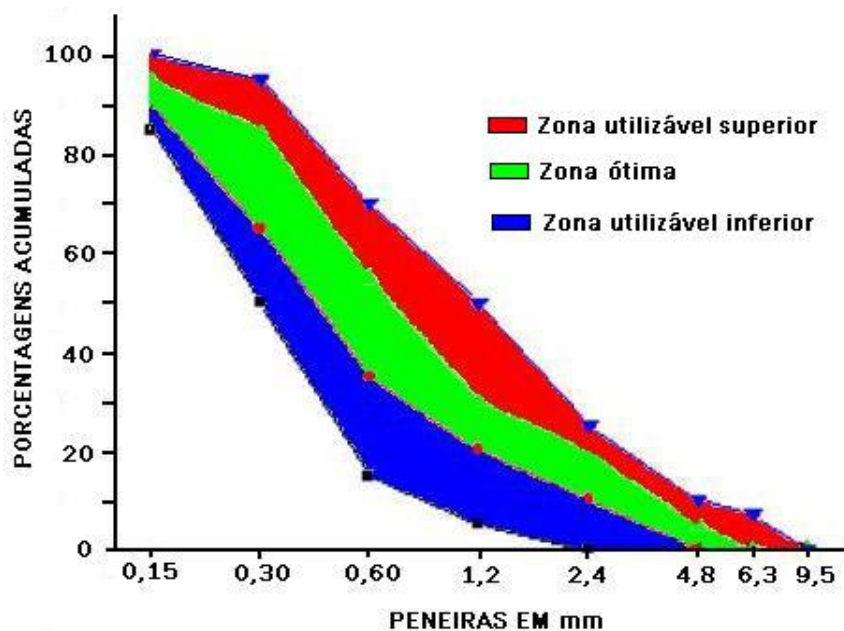
Peneira com abertura de malha (ABNT NBR NM ISO 3310-1)	Porcentagem, em massa, retida acumulada			
	Limites inferiores		Limites superiores	
	Zona utilizável	Zona ótima	Zona ótima	Zona utilizável
9,5 mm	0	0	0	0
6,3 mm	0	0	0	7
4,75 mm	0	0	5	10
2,36 mm	0	10	20	25
1,18 mm	5	20	30	50
600 µm	15	35	55	70
300 µm	50	65	85	95
150 µm	85	90	95	100
Módulo de Finura	1,55	2,20	2,90	3,50

NOTAS

1 O módulo de finura da zona ótima varia de 2,20 a 2,90

2 O módulo de finura da zona utilizável inferior varia de 1,55 a 2,20

3 O módulo de finura da zona utilizável superior varia de 2,90 a 3,50



5.2 Substâncias nocivas

Tabela 3 – Limites máximos aceitáveis de substâncias nocivas no agregado miúdo com relação à massa do material.

Determinação	Método de ensaio		Quantidade máxima relativa à massa do agregado graúdo %
Torrões de argila e materiais friáveis	ABNT NBR 7218		3,0
Materiais carbonosos ¹⁾	ASTM C 123	Concreto aparente	0,5
		Concreto não aparente	1,0
Material fino que passa através da peneira 200# por lavagem (material pulverulento) ²⁾	NBR NM 46	Concreto submetido a desgaste superficial	3,0 ou 10,0
		Concretos protegidos do desgaste superficial	5,0 ou 12,0
Impurezas orgânicas ³⁾	ABNT NBR NM 49		A solução obtida no ensaio deve ser mais clara que a solução-padrão
	ABNT NBR 7221	Diferença máxima aceitável através da resistência à compressão	10%
¹⁾ Quando não for detectada a presença de materiais carbonosos durante apreciação petrográfica, pode-se prescindir do ensaio de quantificação (ASTM C 123). ²⁾ Quando o material fino que passa na peneira 200# for constituído totalmente de grãos gerados durante a britagem de rocha, os valores constantes da tabela 3 podem ter seus limites alterados de 3% para 10% (para Concreto submetido a desgaste superficial) e de 5% para 12% (para Concretos protegidos do desgaste superficial), desde que seja possível comprovar, por apreciação petrográfica (NBR 7389), que os grãos constituintes não interferem nas propriedades do concreto. São exemplos de materiais inadequados os materiais micáceos, ferruginosos e argilo-minerais expansivos. Ver nota 3 da tabela 7. ³⁾ Quando a coloração da solução obtida no ensaio for mais escura do que a solução-padrão, a utilização do agregado miúdo deve ser estabelecida pelo ensaio previsto na ABNT NBR 7221.			

5.3 Durabilidade

5.3.1 Em agregados provenientes de regiões litorâneas, ou extraídos de águas salobras ou ainda quando houver suspeita de contaminação natural (regiões onde ocorrem sulfatos naturais como a gipsita) ou industrial (água do lençol freático contaminada por efluentes industriais), os teores de cloretos e sulfatos devem ser limitados, conforme tabela 4:

5.3.2 agregados potencialmente reativos (ditados pela apreciação petrográfica da norma NBR7389), quando excedem o limite de 0,10% de expansão do método **ASTM C 1260**, podem ser utilizados somente em concretos com teor total de álcalis $\leq 3,0 \text{ kg/m}^3$ ou naqueles com cimentos considerados inibidores, tipo CP III e CP IV. Alternativamente, pode ser verificada a reatividade do agregado de acordo com a ABNT NBR 9773, devendo ser observados os limites da tabela 4.

Tabela 4 – Limites máximos para a expansão devida à reação álcali-agregado e teores de cloretos e sulfatos presentes nos agregados

Determinação	Método de ensaio	Limites
Reatividade álcali-agregado	ASTM C 1260	Expansão máxima de 0,10% aos 14 dias de cura agressiva
	ABNT NBR 9773 ¹⁾	Expansão máxima de 0,05% aos 3 meses
		Expansão máxima de 0,10% aos 6 meses
Teor de cloretos ²⁾ (CL ⁻)	ABNT NBR 9917 ABNT NBR 14832 ³⁾	< 0,2% concreto simples
		< 0,1% concreto armado
		< 0,01% concreto protendido
Teor de sulfatos solúveis ⁴⁾ (SO ₄ ²⁻)	ABNT NBR 9917	< 0,1%
¹⁾ Ensaio facultativo, nos termos de 5.3.2. ²⁾ Agregados que excedam os limites estabelecidos para cloretos só podem ser utilizados em concreto quando o teor total trazido ao concreto por todos os seus componentes, verificado por ensaio realizado pelo método ABNT NBR 14832 (determinação no concreto) ou ASTM C 1218, não exceda os seguintes limites, dados em % sobre a massa de cimento: - concreto protendido ≤ 0,06% - concreto armado exposto a cloretos ≤ 0,15% - concreto armado em condições de exposições não severas ≤ 0,40% - outros tipos de construção com concreto armado ≤ 0,30% ³⁾ O método ABNT NBR 14832 neste caso pode ser utilizado para o ensaio de agregados. ⁴⁾ Agregados que excedem o limite estabelecido para sulfatos solúveis só podem ser utilizados em concreto quando o teor total trazido ao mesmo por todos os seus componentes não exceda 0,2% ou que fique comprovado o uso de cimento Portland RS, conforme ABNT NBR 5737.		

5.4 Ensaios Especiais

Em determinadas regiões ou para concretos com determinados requisitos específicos, pode ser necessária a exigência, por parte do consumidor, de prescrições especiais adicionais. Algumas destas prescrições ou os métodos para sua determinação são exemplificados na tabela 5.

Tabela 5 – Ensaios especiais para agregado miúdo

Propriedades físicas	Método
Massa específica	ABNT NBR NM 52
Massa unitária	ABNT NBR 7251
absorção de água	ABNT NBR NM 30
Inchamento	ABNT NBR 6467
Teor de partículas leves	ABNT NBR 9936
Umidade superficial	ABNT NBR 9775

6 Agregado graúdo

A amostra representativa de um lote coletada e reduzida de acordo com as normas NBR NM 26 e NBR NM 27, deve satisfazer os requisitos prescritos de 6.1 a 6.4.

6.1 Granulometria

6.1.1 Distribuição granulométrica

A amostra representativa de um lote de agregado graúdo deve satisfazer os requisitos prescritos para granulometria, conforme tabela 6.

Tabela 6 – Limites da composição granulométrica do agregado graúdo

Peneira com abertura de malha (ABNT NBR NM ISO 3310-1)	Porcentagem, em massa, retida acumulada				
	Zona granulométrica $d/D^{1)}$				
	4,75/12,5	9,5/25	19/31,5	25/50	37,5/75
75 mm	-	-	-	-	0 - 5
63 mm	-	-	-	-	5 - 30
50 mm	-	-	-	0 - 5	75 - 100
37,5 mm	-	-	-	5 - 30	90 - 100
31,5 mm	-	-	0 - 5	75 - 100	95 - 100
25 mm	-	0 - 5	5 - 25 ²⁾	87 - 100	-
19 mm	-	2 - 15 ²⁾	65 ²⁾ - 95	95 - 100	-
12,5 mm	0 - 5	40 ²⁾ - 65 ²⁾	92 - 100	-	-
9,5 mm	2 - 15 ²⁾	80 ²⁾ - 100	95 - 100	-	-
6,3 mm	40 ²⁾ - 65 ²⁾	92 - 100	-	-	-
4,75 mm	80 ²⁾ - 100	95 - 100	-	-	-
2,36 mm	95 - 100	-	-	-	-
¹⁾ Zona granulométrica correspondente à menor (d) e à maior (D) dimensões do agregado graúdo. ²⁾ Em cada zona granulométrica deve ser aceita uma variação de no máximo 5% em apenas um dos limites marcados com ²⁾ . Essa variação pode também estar distribuída em vários desses limites.					

6.1.2 Forma dos grãos

O índice de forma dos grãos do agregado não deve ser superior a 3, quando determinado pela NBR 7809.

6.1.3 Desgaste

O índice de desgaste por abrasão “Los Angeles” determinado pela NBR NM 51, deve ser inferior a 50%, em massa, do material.

6.2 Substâncias nocivas

Tabela 7 – Limites máximos aceitáveis de substâncias nocivas no agregado graúdo com relação à massa do material.

Determinação	Método de ensaio		Quantidade máxima relativa à massa do agregado graúdo - %
Torrões de argila e materiais friáveis	ABNT NBR 7218	Concreto aparente	1,0
		Concreto sujeito a desgaste superficial	2,0
		Outros concretos	3,0

Materiais carbonosos ¹⁾	ASTM C 123	Concreto aparente	0,5
		Concreto não aparente	1,0
Material fino que passa através da peneira 200# por lavagem (material pulverulento) ^{2), 3)}	ABNT NBR NM 46		1,0

¹⁾ Quando não for detectada a presença de materiais carbonosos durante apreciação petrográfica, pode-se prescindir do ensaio de quantificação (ASTM C 123).

²⁾ Para agregados produzidos a partir de rochas com absorção de água < 1%, o limite de material fino pode ser alterado de 1% para 2%.

³⁾ Para agregado total, definido conforme item 3.6 desta norma, o limite de material fino pode ser composto até 6,5%, desde que seja possível comprovar, por apreciação petrográfica (NBR7389), que os grãos constituintes não interferem nas propriedades do concreto. São exemplos de materiais inadequados os materiais micáceos, ferruginosos e argilo-minerais expansivos.

6.3 Durabilidade

Aplicam-se os requisitos estabelecidos em 5.3 para agregados analisados individualmente e para o agregado total definido em 3.6.

6.4 Ensaios especiais

Em determinadas regiões ou para concretos com determinados requisitos específicos, pode ser necessária a exigência, por parte do consumidor, de prescrições especiais adicionais. Algumas destas prescrições ou os métodos para sua determinação são exemplificados na tabela 8.

Tabela 8 – Ensaios especiais para agregado graúdo

Determinação		Método
Propriedades físicas	Massas específicas absoluta e aparente e absorção de água	ABNT NBR NM 53
	Ciclagem natural	ABNT NBR 12695
	Ciclagem artificial água - estufa	ABNT NBR 12696
	Ciclagem com etilenoglicol	ABNT NBR 12697
	Teor de partículas leves	ABNT NBR 9936
	Umidade total	ABNT NBR 9939
Propriedades mecânicas	Módulo de deformação estático e coeficiente de Poisson de rochas	ABNT NBR 10341
	Resistência ao esmagamento	ABNT NBR 9938
	Desgaste por abrasão	ABNT NBR 12042
	Resistência à compressão da rocha	ABNT NBR 6953

7 Inspeção

A inspeção deve ser feita de acordo com a ABNT NBR NM 26.

8 Aceitação e rejeição

8.1 Para a aceitação de um ou mais lotes de agregados, definidos conforme ABNT NBR NM 26, deve ser estabelecido explicitamente entre o consumidor e o produtor a realização da coleta e dos ensaios das amostras por laboratório idôneo ou no laboratório de uma das partes quando houver consentimento mútuo.

8.2 Um lote somente deve ser aceito quando cumprir todas as prescrições desta Norma e eventuais prescrições especiais contratadas.

1 - Razões de sua utilização em argamassas e concretos:

- a) economia
- b) influência técnica benéfica sobre:
 - retração
 - resistência ao desgaste

Obs.: O conjunto pasta-agregado forma um compósito em que a resistência aos esforços mecânicos passa a depender da zona de ligação entre ambos, mas pode se manter em níveis tecnicamente satisfatórios, desde que bem dosados.

Informações Complementares:

3.1 - definição:

Agregado é o material **granuloso** e **inerte**, **sem forma e volume definidos**, de **dimensões e propriedades adequadas** para o uso em obras de engenharia.

Ligeira explicação dos termos usados na definição:

- a) “granuloso” devido à sua característica de “enchimento”, ou seja, ganho de volume que gera economia e ajuda a reduzir a retração. Constituem 70 a 80% do volume do concreto.
- b) “inerte”: isenção de substâncias prejudiciais (inclui reatividade potencial com os álcalis do cimento). Mas, é interessante possuir relação epitáxica (aderência química, formação de C-S-H com componentes do próprio agregado).
- c) “sem forma definida”: por razões de economia (agregados graúdos). A melhor forma é a que mais se aproxima da esfera, para os seixos e do cubo, para as britas.
 coeficiente volumétrico - AFNOR
 concreto de alta resistência ou para barragens 0,20
 concreto simples 0,15
- d) “dimensões adequadas” - aqui estão resguardadas características como granulometria contínua para maior trabalhabilidade e posterior ganho de compacidade (melhor arrumação das partículas dentro do concreto), significando maior resistência final.
- e) “propriedades adequadas” - além das já citadas, devemos incluir:
 - resistência mecânica da rocha matriz. ($f_c \geq 100$ MPa, ou superior se necessário)
 - aderência por afinidade química
 - adequadas propriedades térmicas.

Afirmação conclusiva: “A forma final de se ajuizar da qualidade de uma rocha para agregados é ensaiando o concreto com ela fabricado.”

3.2 - Classificação dos Agregados:

Quanto às dimensões	miúdos	areia natural
		pedrisco (artificial)
	graúdos	seixo rolado (natural)
		brita (artificial)
Quanto à Massa Unitária	Agregados Leves	$\delta < 1 \text{ t/m}^3$ (vermiculita, argila expandida, pedra-pomes, etc.)
	Agregados Normais	$1 \text{ t/m}^3 < \delta < 2 \text{ t/m}^3$ (areias quartzosas, seixos, etc.)
	Agregados Pesados	$\delta > 2 \text{ t/m}^3$ (barita, magnetita, etc.)

3.3 - Informações Úteis

Massa Específica (p/ consumos)

Massa Unitária (p/ padiolas e aquisição de areias)

Umidade e absorção dos agregados miúdos

4 - Areias Artificiais

5 - Durabilidade Esperada dos Agregados Graúdos:

I – Inalterabilidade (ao ar, à água e ΔT)

II – Não provocar a RAA (Reação Álcali-Agregado)

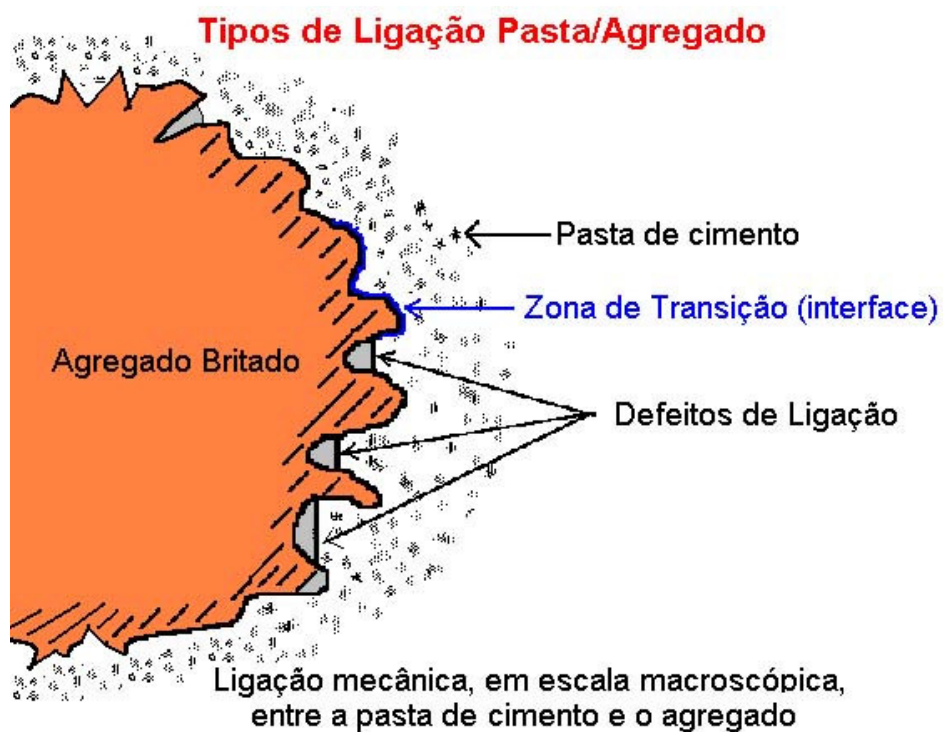
(São reações expansivas envolvendo agregados)

CONDIÇÕES A QUE DEVEM SATISFAZER OS AGREGADOS PARA CONCRETOS DE BOA QUALIFICAÇÃO:

CONDICÕES TÉCNICAS	RESISTÊNCIA	grãos duros e compactos.
		rocha matriz com $f_c > 100$ MPa, ou bem superior para uso em CAD's.
		perda por abrasão Los Angeles $< 50\%$.
		baixo teor de materiais friáveis e húmus vegetal.
	TRABALHABILIDADE (gerar $<$ consumo água)	coeficiente volumétrico médio do grão $> 0,20$.
		índice de forma dos grãos < 3 , ou seja, $c/e < 3$.
		granulometria contínua e M.F. $> 2,4$ p/ miúdos.
		baixo teor de materiais pulverulentos ($< 3\%$). Ausência de materiais micáceos e de argilo-minerais.
	DURABILIDADE	grãos duráveis e limpos.
		resistência química (inalteráveis ao ar, à água e ΔT).
		<u>isentos de substâncias que provoquem:</u> a) corrosão das armaduras b) prejuízos à ligação e hidratação do cimento c) expansões a médio e longo prazos: (como as RAA).
		não agredir a saúde dos usuários.
COND. ECONÔMICAS	HIGIENE	apresentar adequadas propried. térmicas, acústicas, etc.
	FABRICAÇÃO	atender economicamente (britagem, peneiramento, etc).
	TRANSPORTE	distâncias econômicas em rel. ao mercado consumidor.
	APLICAÇÃO	atender quanto à trabalhabilidade.
COND. ESTÉTICAS	CONSERVAÇÃO	atender quanto à durabilidade.
	ASPECTO	atender quanto à durabilidade.
	COR	também, atender quanto à durabilidade.
	PLÁSTICA	não é afeta diretamente aos agregados, mas sim ao projeto arquitetônico.

INFLUÊNCIA DA GRANULOMETRIA NA TRABALHABILIDADE DO CONCRETO

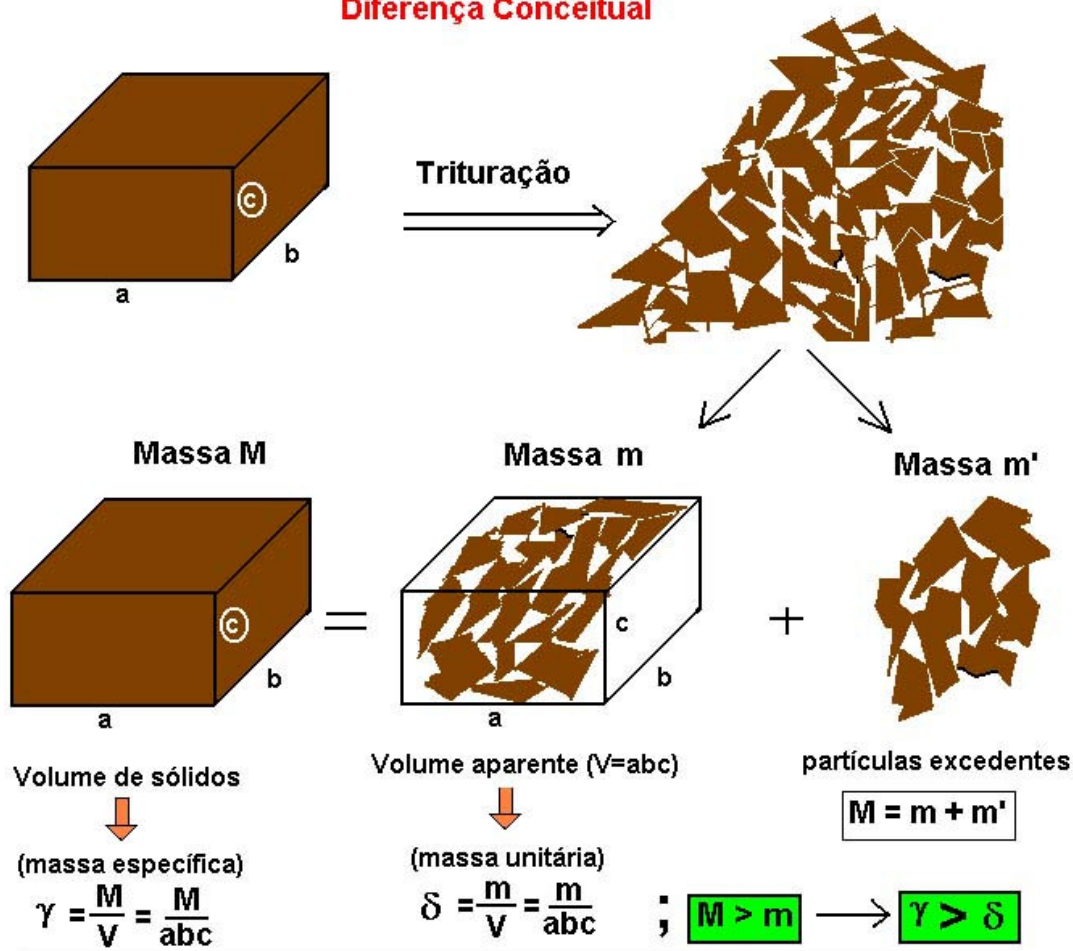
Agregado (ϕ mm)	Água de Molhagem (l/m ³)	Agregado (ϕ mm)	Água de Molhagem (l/m ³)
0,16 – 0,30	300	2,50 – 5,00	56
0,20 – 0,40	280	6,30 – 10,00	38
0,40 – 0,80	200	16,00 – 25,00	18
0,80 – 1,60	120	40,00 – 63,00	11
1,60 – 3,15	75	120,00 – 200,00	5



- a) Aderência por rugosidade superficial do agregado. (Interpenetração)
- b) Aderência por atração capilar. (Devida a uma película líquida ou gelatinosa formada entre as superfícies de ligação pasta/agregado)
- c) Aderência química. (Reação pozolânica e/ou ligação epitáxica (os cristais de cimento hidratado como que “prolongam” os do agregado)).

Massa Específica e Massa Unitária

Diferença Conceitual



Massa Específica:

A massa específica do agregado é a massa da unidade de volume do mesmo, excluindo deste tanto os vazios permeáveis (acessíveis) quanto os vazios entre os grãos (intergrãos).

O valor obtido para a massa específica de um agregado poroso vai depender do estado de umidade em que o mesmo se encontrar no momento do ensaio. No entanto, a única situação de umidade do agregado que não altera a água do concreto é na de Saturado Superfície Seca, ou **condição SSS**, situação que deve ser a escolhida quando da operação em obra bem controlada ou na realização de pesquisas.

Observação: Quando o agregado é compacto, ou seja, pouco poroso e de baixa absorção, os valores da massa específica serão bastante próximos tanto na situação seco ao ar quanto na situação SSS, podendo ser utilizado qualquer deles.

Sua determinação pode ser feita através de:

- Proveta graduada,
- balança hidrostática,
- picnômetros e frasco de chapman (estes só para agregados miúdos)

Determinação da Absorção e da Massa Específica SSS de agregado graúdo em balança Hidrostática; (MB-2698)

- Colocar a amostra em imersão em água durante 24 horas;
- Secar a superfície dos grãos e determinar ao ar a sua massa no estado saturado superfície seca (B);
- Determinar a massa da amostra imersa através da balança hidrostática (C);
- Colocar a amostra para secar em estufa por 24 horas e determinar a sua massa no estado seco em estufa (A).

$$\gamma_{\text{sss}} = B / (B - C) \quad ; \quad a \% = (B - A) / A \times 100$$

Frasco de Chapman

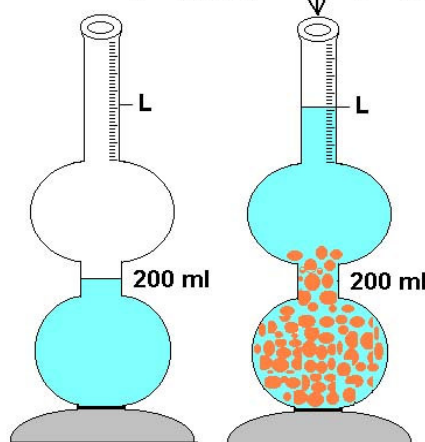
Utiliza-se Ps = 500g de areia seca em estufa (h=0%) e 200ml de água

$L = 200 + V_a$, onde V_a = volume real da areia.

$$\gamma_a = \frac{P_s}{V_a} = \frac{500}{L - 200} \quad ; \quad \gamma_a \cong 2,65 \text{ Kg /dm}^3 \text{ (valor médio)}$$

Massa Específica pelo Frasco de Chapman

$$\gamma_a = \frac{M}{V} = \frac{500}{L - 200}$$



A massa específica tem aplicação direta no **cálculo dos consumos** de materiais por m³ de concreto ou argamassa. (serve de base para os orçamentos).

Obs.: A massa específica real só pode ser obtida reduzindo-se o material a pó muito fino de modo a eliminar o efeito dos vazios inacessíveis (internos) dos grãos.

Massa Unitária:

A massa unitária é definida como sendo a massa da unidade de volume total aparente, isto é, incluindo no volume todos os vazios, intra e intergrãos.

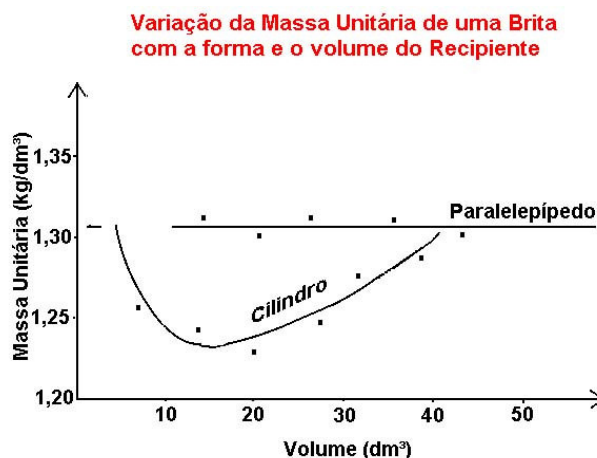
Valores da massa unitária:

$\delta_o = \frac{P_s}{V_s} \text{ (kg/dm}^3\text{)} \text{ , para material seco (h = 0\%)} \quad$	$\delta_h = \frac{P_h}{V_h} \text{ (kg/dm}^3\text{)}, \text{ para material úmido (h} \neq 0\%)$
--	---

A massa unitária tem grande importância **nas operações de concretagem e orçamentos**, pois serve para converter composições em peso para volume e vice-versa. (capacidade de padiolas e aquisições de areia e britas em volume).

A massa unitária é influenciada por:

- a) modo de enchimento do recipiente (energia de compactação)
- b) forma geométrica e volume do recipiente (paralelepípedo $V \geq 15 \text{ dm}^3$)
- c) teor de umidade do agregado miúdo (inchamento);



6) Umidade e Absorção dos Agregados para Concreto:

Na obra o agregado miúdo é entregue com certa umidade (2 a 7% em 95% dos casos) sendo necessárias determinações periódicas de seu teor para controle da quantidade de água que deverá ser adicionada no concreto e acerto da quantidade do agregado miúdo, visto que, com a umidade aparece o fenômeno do inchamento, alterando seu volume. A não consideração dessas variáveis acarretará grande dispersão nos resultados de resistência (aumento no desvio-padrão), caindo a qualidade das estruturas executadas.

Uma partícula de agregado, mais ou menos porosa, pode assumir uma das quatro situações apresentadas na figura abaixo:

UMIDADE E ABSORÇÃO DE AGREGADOS

Situações possíveis:

- (a) = seco em estufa;
- (c) = absorção efetiva (estado SSS)
- (d) = com umidade superficial.

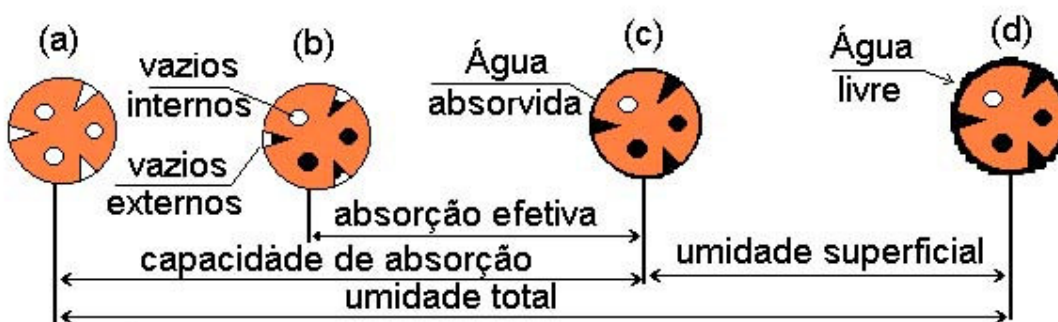


Fig. Estados de Umidade e Absorção de Agregados

No momento de se misturar esse agregado ao concreto, ele poderá alterar a quantidade desejável de água do mesmo em 3 (três) das quatro situações.

Nas condições (a) e (b), ele irá “puxar” parte da água de amassamento, secando o concreto. Na condição (d), ele tenderá a passar água para a mistura, aumentando a relação água/cimento do mesmo.

Em todas essas situações estará havendo perda de qualidade do concreto, caso não haja uma boa “administração” do fenômeno.

Esse problema será tanto maior quanto maior for a porosidade do agregado. Para os agregados de boa qualidade, muito compactos e de baixa absorção, a preocupação será, obviamente, bem menor.

Como se atinge, na prática, a situação (c), que é a única confortável no controle de qualidade? Antes de qualquer coisa, a situação (c), é chamada SSS, ou seja, o material está Saturado com Superfície Seca.

No caso do agregado graúdo, padronizou-se que a condição SSS é atingida quando o grão do material, que tenha passado por um período satisfatório de imersão, tem a sua superfície enxugada da água excedente (aquela que escorre) com um pano absorvente.

Já o agregado miúdo, tem a sua condição SSS, conforme a figura abaixo. Quando uma pilha tronco-cônica, recentemente moldada com a areia úmida, permanece parcialmente de pé ao se retirar o molde. Se a pilha se desmancha, a areia estará mais seca, ou na situação (b). Ficando inteiramente de pé, a areia estará com “água livre”, denotando uma situação semelhante à (d) da figura acima.

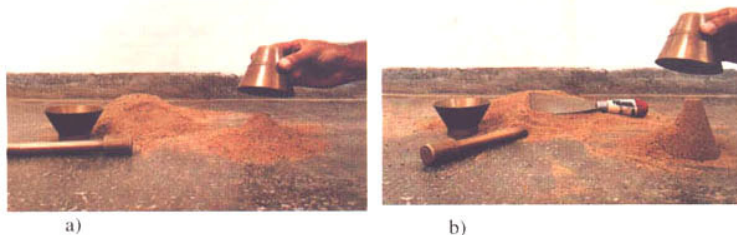


Figura 2.4.b - Determinação da Capacidade de Absorção da Areia: a) amostra com umidade inferior à capacidade de absorção; b) amostra saturada com superfície seca

Processos para determinação do teor de umidade total:

- Secagem em estufa (105 a 110 °C por 6h, no mínimo)
- Secagem por aquecimento ao fogo
- Frasco de Chapman
- Speedy
- Medida indireta pela massa unitária

Ligeira explicação dos métodos:

- a) e b): os casos a e b baseiam-se na expressão $h\% = \frac{P_h - P_s}{P_s} \times 100$

onde, h = teor de umidade em %

P_h = peso da areia úmida

P_s = peso da areia completamente seca (base = 100%)

- c) Frasco de Chapman :

Utilizam-se 500g de areia úmida $\rightarrow P_h = 500g$

leitura $L = 200 + v + V_a$, onde v = volume da água carregada pela areia
 V_a = volume real da areia (sem água)

$$h\% = (P_h - P_s)/P_s \times 100$$

Baseando-se nas expressões acima, demonstra-se que o teor de umidade é:

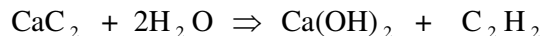
$$h = \frac{100[500 - (L - 200)\gamma_a]}{(L - 700)\gamma_a}$$

- d) Medida indireta pela massa unitária:

Para uma areia que tenha sido previamente ensaiada para o traçado de sua curva de inchamento, conhece-se a correlação $h\% \times \delta_h$. Assim, para cada valor de δ_h ter-se-á o $h\%$ correspondente.

e) Speedy:

Reação básica:

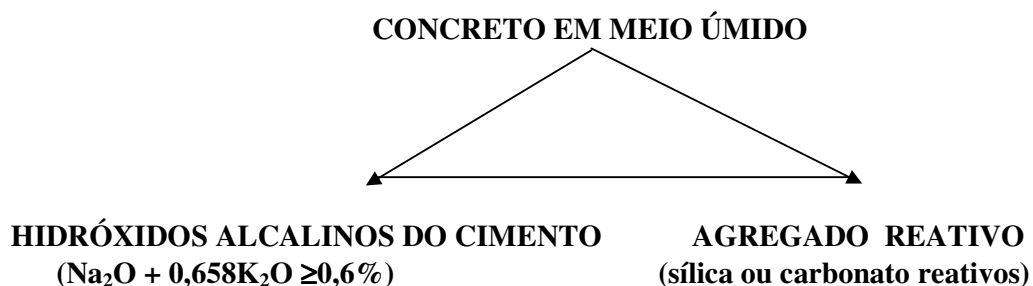


Consta de um recipiente de vedação perfeita equipado com um manômetro, no interior do qual é colocado um certo peso de areia úmida e carbureto de cálcio, este em excesso.

O carbureto de cálcio (CaC_2) reage com a água da areia formando hidróxido de cálcio e gás acetileno, que exerce pressão. Através de leitura no manômetro e de uma tabela que acompanha o aparelho, tem-se o teor de umidade.

RAA (Reação Álcali-Agregado) - Reações Expansivas Envolvendo Agregados:

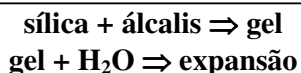
Condições “sine qua non” para a sua ocorrência:



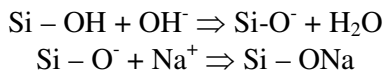
a) Reação Álcali-Sílica:

A deterioração do concreto pela reação álcali-sílica (Stanton -1940) é devida à alta concentração de álcalis na solução dos poros do concreto, que resulta numa elevação do pH a níveis que tornam a solução altamente agressiva e susceptível a reagir com a possível sílica amorfa existente nas rochas usadas como agregado.

É importante ressaltar que não são os álcalis que reagem, e sim os íons hidroxilas provenientes da dissociação dos hidróxidos alcalinos.



Trata-se de uma reação do tipo ácido-base onde o grupo silanol (Si-OH) é neutralizado pela solução alcalina (NaOH) formando um gel de silicato alcalino...



Minerais reativos: opala, calcedônia, tridimita, cristobalita e zeólitas (componentes eventuais dos agregados).

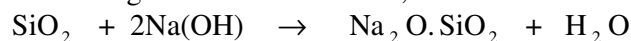
Para evitar a reação alcalina, quando o cimento se destinar a emprego com agregados considerados potencialmente reativos, é exigido o teor de álcalis do cimento ($\text{Na}_2\text{O} + 0,658 \text{K}_2\text{O}$) $\leq 0,6\%$.

Considerações sobre o gel:

Na presença de umidade, o gel formado expande devido à absorção, por osmose, de uma grande quantidade de água, provocando uma pressão hidráulica na estrutura. Como consequência dessa pressão, ocorrem expansões e fissurações das partículas do agregado, da pasta de cimento, e conseqüentemente do

concreto. Uma vez que a disponibilidade da água é contínua, essas fissuras tendem a aumentar e progredir até atingirem a superfície externa dessa estrutura.

Segundo Sousa Coutinho,



↓
Provoca expansão e deterioração do concreto

Obs.: Pozolanas podem reagir com a sílica evitando a formação de silicatos expansivos.

São fatores decisivos na reação álcali-agregado: o tipo e a concentração de álcalis, a % de agregados reativos, a umidade ambiente, a temperatura, a utilização de pozolanas, etc.

As pozolanas têm influência sobre essas reações podendo inibi-las total ou parcialmente e a expansão ser evitada, mediante uma substituição de quantidades superiores a 25% de cimento por igual peso de pozolana adequada. A efetividade desse método de controle da expansão depende muito do tipo de reação e do tipo de pozolana.

Ensaio:

1) Redução da alcalinidade de uma solução normal de NaOH quando colocada em contato com agregado pulverizado, em temperatura de 80°C, e na determinação da quantidade de sílica dissolvida. Os resultados são comparados com os dados do gráfico de MIELENS e WITTE (ver Concreto de Cimento Portland - Petrucci) e a sua situação neste gráfico permite ajuizar de sua possível inocuidade ou reatividade.

2) Uma melhor verificação é dada pela medida do alongamento de uma barra de argamassa de 25 x 2,5 x 2,5 cm.

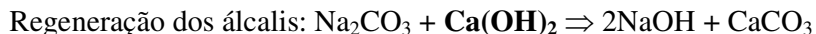
Quando a expansão longitudinal é superior a 0,10 % aos 6 meses ou a 0,05% aos 3 meses, a reação alcalina entre o cimento e o agregado pode ser considerada perigosa.

b) Reação Álcali-Carbonato: (relação calcita / dolomita $\approx$ 1:1)

A reação álcali-carbonato ocorre entre alguns calcários dolomíticos e soluções alcalinas presentes nos poros do concreto, causando expansões e intensas fissurações. Não há formação de gel alcalino como produto desta reação. Um mecanismo bastante aceito é que este tipo de reação está fundamentado na reação de desdolomitização com formação de hidróxido de magnésio (brucita) e regeneração do hidróxido alcalino, conforme as equações abaixo:

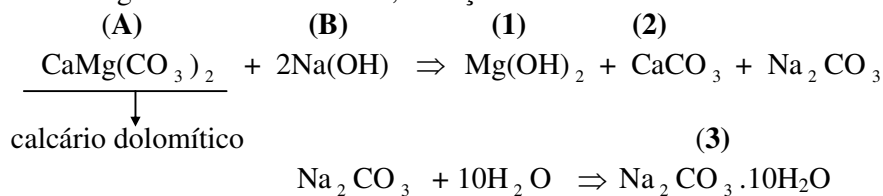


Havendo disponibilidade de $\text{Ca}(\text{OH})_2$ haverá a regeneração dos álcalis:



Como consequência tem-se o enfraquecimento da ligação entre a pasta de cimento e o agregado e a formação de microfissuras.

Ainda segundo Sousa Coutinho, a reação será:

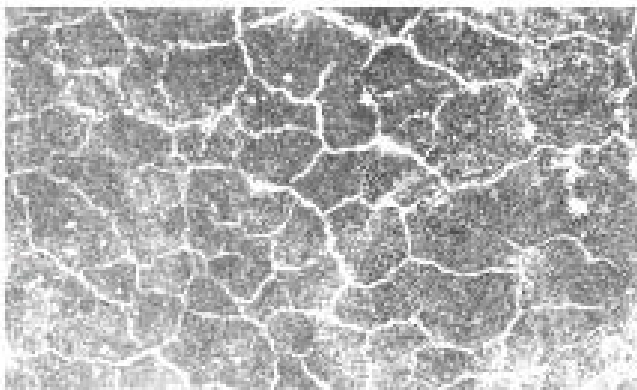


O volume de (1) + (2) + (3) é superior ao triplo do volume de (A) + (B), com expansão de 239%, segundo o autor.



Fissuras de grande abertura devido à RAA

Reação álcali - agregado, RAA



Estrutura de barragem apresentando sinais de RAA

Impurezas dos Agregados miúdos:

- a - Material fino passante na peneira #200
- b - Impurezas orgânicas húmicas
- c - Outras substâncias nocivas

a) Material fino passante na peneira #200:

É constituído de partículas de silte, argila e substâncias solúveis em água, naturalmente passantes na peneira #200 (menores que $75\mu\text{m}$).

Os finos, de um modo geral, contribuem para aumentar a coesão do concreto fresco, mas, quando presentes em grande quantidade, aumentam a exigência de água dos concretos para uma mesma consistência. Os finos de certas argilas em particular, além disso, incham, propiciando maiores alterações de volume nos concretos, intensificando sua retração e reduzindo sua resistência e durabilidade.

No caso de areia artificial (filler calcário, por exemplo), se o material pulverulento ($< 75\mu\text{m}$) consistir de pó oriundo da trituração de rocha, essencialmente livre de argila ou folhelho, os limites de norma podem ser aumentados para 10% e 12%, respectivamente.

“A argila de uma areia pode ser eliminada por lavagem, mas corre-se o risco de arrastar também os grãos de silte e os mais finos da mesma, aumentando o índice de vazios, o que resultará em menor resistência”.

Impõe-se a realização de ensaios comparativos prévios.

Teor de Material Pulverulento (passante na peneira #200) aceito pela EB-4

- 3% máx. para concretos submetidos a desgaste superficial
- 5% máx. para outros concretos.

Sua determinação é feita pela NBR 7219 (MB-9)

b) Impurezas Orgânicas Húmicas:

As impurezas orgânicas da areia, normalmente formadas por partículas de húmus, exercem uma ação prejudicial sobre a pega e o endurecimento das argamassas e concretos. Uma parte do húmus, que é ácida, neutraliza a água alcalina do gel de cimento, provocando prejuízos à hidratação e ganho de resistência, e a parte restante envolve os grãos de areia, formando uma película sobre eles, impedindo, desta forma, uma perfeita aderência entre o cimento e as partículas de agregado. Por estas razões, as argamassas e concretos preparados com areias que contenham um elevado teor de matéria orgânica, têm baixa resistência.

Conclusões acerca da influência da matéria orgânica sobre a qualidade das argamassas e concretos:

- 1) Reduz a resistência (influi mais em misturas pobres e nas primeiras idades)
- 2) A lavagem da areia com água não tem objetivo, pois os ácidos do húmus são dificilmente solúveis e aderem fortemente aos grãos;
- 3) A lavagem com água de cal é mais conveniente porque neutraliza a acidez e elimina os sais;
- 4) A substituição de 5% do cimento por igual quantidade de cal também ajuda;
- 5) A resistência aos 7 dias é o melhor indicador da qualidade da areia e da influência da matéria orgânica;
- 6) O concreto executado com areias impuras deve ser mantido úmido durante longo tempo, pois seu endurecimento é mais lento devido à redução da alcalinidade do gel na hidratação do cimento;
- 7) As areias tornam-se inutilizáveis com 1% em massa de ácidos do húmus.

O MB-10 = NBR NM 49 fixa o modo de avaliação colorimétrica das impurezas orgânicas das areias destinadas ao concreto, o que será visto em laboratório.

c) Outras Substâncias Nocivas:

Torrões de argila, gravetos, grânulos tenros friáveis, matérias carbonosas e sais (principalmente sulfatos e cloretos) são também impurezas da areia.

- As partículas de baixa densidade baixam a resistência do concreto e o prejudicam quanto à abrasão.
- As partículas de carvão e linhita podem intumescer e desagregar o concreto, bem como perturbar seu endurecimento.
- Revestimentos contendo cloretos tornam-se higroscópicos dando lugar ao aparecimento de eflorescências e manchas de umidade.
- Os sulfatos alteram a pega e dão origem a inchamentos pela formação do sal de Candlot (sulfoaluminato expansivo).

Areias Artificiais:

São obtidas pela classificação ou moagem de fragmentos de rochas.

As melhores são de granito e pedras com predominância de sílica. As de basalto apresentam muitos grãos em forma de placas e agulhas que reduzem muito a trabalhabilidade.

Tem a vantagem de serem passíveis de correções granulométricas, ajuste no teor de finos na dosagem dos concretos e apresentar ligação epitáxica com a pasta de cimento.

Durabilidade dos Agregados Graúdos:

I – inalterabilidade (ao ar, à água e ΔT)

Os agregados devem provir de rochas inertes, isto é, sem ação química prejudicial sobre os aglomerantes e inalteráveis ao ar, à água e às variações de temperatura. Certos feldspatos e xistos que se decompõem lentamente ao ar ou em contato com a água não satisfazem sobre este ponto de vista.

O IPT de São Paulo prescreve o método M-14 para verificar esta característica. O ensaio consiste em submeter o agregado à ação de uma solução de sulfato de sódio (500g de sulfato em 1000 cm³ de água destilada). Verifica-se a perda de peso pela imersão em 5 ciclos do agregado na solução por 20 horas, seguidos de 4 horas de secagem em estufa a 105° C.

O IPT fixa em 15% a perda de peso máximo permissível.

ALGUNS ENSAIOS DE AGREGADOS

- 1 - Determinação do Teor de Argila em Torrões e Materiais Friáveis.....ABNT NBR-7218
- 2 - Determinação do Teor de Materiais finos passantes na peneira #200.....NBR NM 46
- 3 - Determinação do Teor de Impurezas Orgânicas Húmicas..... NBR NM 49

1 - DETERMINAÇÃO DO TEOR DE ARGILA EM TORRÕES... ABNT NBR-7218

Importância do Ensaio:

Torrões de argila ou grânulos friáveis disseminados no maciço de concreto constituem “pontos fracos” dentro do mesmo e prejudicam diretamente a resistência. Por outro lado, se o torrão de argila se desmancha no momento da mistura na betoneira, ele tenderá a “secar” o concreto prejudicando a trabalhabilidade; para restabelecer, a adição de mais água irá aumentar a relação A/C, o que prejudicará a qualidade como um todo.

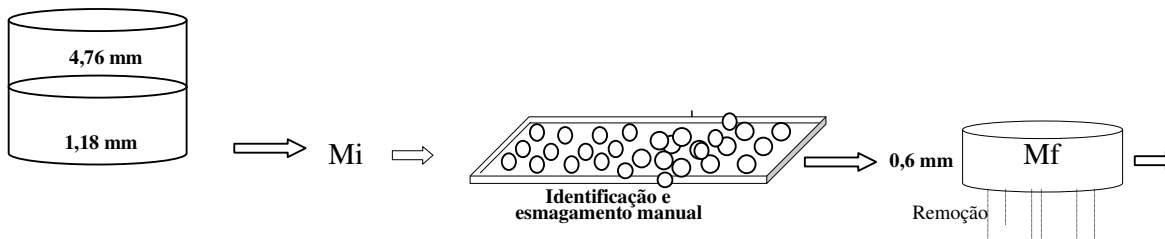
Procedimento do ensaio:

- Colher a amostra e reduzi-la segundo as NBR NM 26 e NBR NM 27;
- Peneirar certa quantidade desse material seco através das peneiras especificadas na tabela abaixo e formar as amostras com as massas mínimas indicadas:

Material retido entre as peneiras de (em mm)	1,2 e 4,8	4,8 e 19	19 e 38	38 e 76
Massa mínima da amostra para ensaio (kg)	0,2	1,0	3,0	5,0
Peneira para remoção dos resíduos (mm)	0,6	2,4	4,8	9,6

Agregado Miúdo

ENSAIO POR FRAÇÃO DA AMOSTRA



$$M_t = \frac{M_i - M_f}{M_i} \times 100 \quad \left\{ \begin{array}{l} M_{tf} \Rightarrow \text{para fração fina } (< 4,76 \text{ mm}) \\ M_{tG} \Rightarrow \text{para fração grossa } (> 4,76 \text{ mm}), \text{ se } \% \text{ retido } > 5\% \text{ da amostra} \end{array} \right.$$

Exemplo:

Amostra de areia com : Fração grossa de 6% + Fração fina de 94 % (retidas)

Ensaio da fração fina : $M_i = 200\text{g} ; M_f = 198\text{g} \Rightarrow M_{tF} = \frac{200 - 198}{200} \times 100 = 1\%$

F = Teor parcial da fração fina = 1% de 94 % = 0,94%

Ensaio da fração grossa: $M_i = 1000\text{g} ; M_f = 980\text{g} \Rightarrow M_{tG} = \frac{1000 - 980}{1000} \times 100 = 2\%$

G = Teor parcial da fração grossa = 2% de 6 % = 0,12%

Teor Global de Argila em Torrões = F + G = 0,94 + 0,12 = 1,06%

Avaliação dos resultados segundo a NBR 7211/2005 (Ver Tabela 3 e Tabela 7)

Teor de argila em torrões deve ser $\left\{ \begin{array}{l} 3,0\% \text{ para agregado miúdo} \\ \text{Até } 3,0\% \text{ para agregado graúdo} \end{array} \right.$

Como $1,06\% < 3,0\% \Rightarrow$ AMOSTRA APROVADA !

1- DETERMINAÇÃO DO TEOR DE MATERIAIS FINOS PASSANTES NA PENEIRA #200 (NBR NM 46)

Importância do Ensaio:

Um índice alto de materiais pulverulentos no agregado por si só exige um teor de água maior para “molhar” o concreto, com isso, a relação A/C sobe, prejudicando a qualidade. Por outro lado, um teor de finos mais alto ($>350\text{kg/m}^3$) é bom para a coesão do concreto (dará < exsudação). Nesse aspecto, o material pulverulento de granulometria siltosa é até interessante porque pode economizar em cimento, mas desde que não traga contaminações químicas (como os sais cloretos e sulfatos). Ao final de contas, o material pulverulento mais prejudicial é o argiloso, de origem natural e barrento, cheio de matéria orgânica apodrecida; este não deve aparecer. Teor zero%!

Procedimento do ensaio:

Usa-se um conjunto de duas peneiras superpostas, sendo a superior de 1,2mm de abertura de malha para sustentar o material mais grosso, e a inferior de # 0,075mm de abertura e água corrente para que o material possa ser lavado.

Depois de colhida, segundo a NBR NM 26, a amostra deve ter no mínimo:

Dimensão Máxima do Agregado	Massa Mínima da Amostra a Ensaiar
Menor que 4,8 mm	1,0 kg
entre 4,8 mm e 19,0 mm	3,0 kg
Maior que 19,0 mm	5,0 kg

Procedimento:

- Secar previamente as amostras de ensaio em estufa entre 105°C e 110°C até constância de massa. Determinar suas massas secas (M1 e M2);
- Colocar a amostra (M1) num recipiente e cobrir com água, agitando bem o material com o auxílio de uma haste provocando, assim, separação e suspensão das partículas finas, tendo o cuidado de não provocar abrasão no material;
- Verter a água cuidadosamente através do conjunto de peneiras previamente montado;
- Lançar o material retido nas peneiras de volta ao recipiente e repetir a operação de lavagem até que a água aí contida se torne límpida. Fazer a comparação visual da limpidez entre a água, antes e depois da lavagem, utilizando dois recipientes de vidro transparentes com dimensões iguais;
- Ao terminar a lavagem, deixar o material em repouso em tempo suficiente para decantar partículas. Retirar a água em excesso e levar o material pra secagem em estufa até constância de massa e determinar a massa final de M1 (mf1);
- Repetir todo o procedimento para a amostra M2, obtendo mf2.

Resultados:

O teor de material pulverulento (MP%) de cada amostra é obtido pela diferença entre as massas M1 e M2 finais e expresso em percentagem da massa da amostra ensaiada. Sendo que o resultado final será a média aritmética das duas determinações:

$$MP\% = \frac{M_i - M_f}{M_i} \times 100$$

Avaliação dos resultados segundo a NBR 7211/2005: (Ver Tabela 3 e Tabela 7)

Para Agregados miúdos $\left\{ \begin{array}{l} \text{MP\%} \leq 3 \text{ ou } 10\% \\ \text{MP\%} \leq 5 \text{ ou } 12\% \end{array} \right.$

Para Agregados graúdos $\Rightarrow \text{MP\%} \leq 1 \text{ ou } 2\%$

2- DETERMINAÇÃO DO TEOR DE IMPUREZAS ORGÂNICAS HÚMICAS NBR NM 49

Importância do ensaio: (Ver página 82 desta apostila)

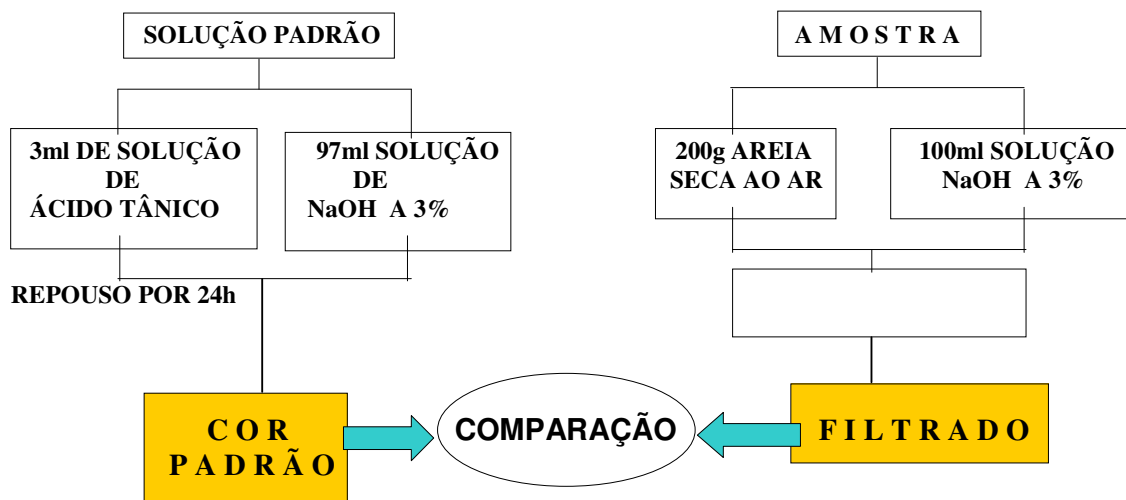
Procedimento do ensaio:

Conforme a NBR NM 49 a presença prejudicial de materiais orgânicos contidos ou não nas areias é determinada através do ensaio colorimétrico, no qual, através de uma solução, cuja cor adotada como padrão, julgará a areia quanto à sua qualidade para uso em concretos e argamassas.

- Prepara-se com antecedência as seguintes soluções:

- a) Solução de hidróxido de sódio a 3% $\left\{ \begin{array}{l} \text{Hidróxido de sódio} \Rightarrow 30\text{g} \\ \text{Água destilada} \Rightarrow 970\text{g} \end{array} \right.$
- b) Solução de ácido tânico a 2% $\left\{ \begin{array}{l} \text{Ácido tânico} \Rightarrow 2\text{g} \\ \text{Álcool} \Rightarrow 10\text{ml} \\ \text{Água destilada} \Rightarrow 90\text{g} \end{array} \right.$

ESQUEMA GERAL DO ENSAIO



3 ml de solução Padrão tem 0,02 g de ácido Tânico

Para cor igual: 200g de areia terão 0,06 g de ácido tânico
1.000.000g “ “ “ 300g “ “ “ ou 300ppm

TRAÇADO DA CURVA DE INCHAMENTO DE UMA AREIA (NBR 6467)

Definições:

Os agregados miúdos têm grande capacidade de retenção de água. A areia, quando utilizada em obra, apresenta-se mais ou menos úmida, o que se reflete de maneira considerável sobre o sua massa unitária. A experiência mostra que a água livre aderente aos grãos provoca afastamento entre eles, causando o chamado inchamento da areia, que é o aumento de volume dessa massa de areia pela absorção de água. São caracterizados por dois índices:

Umidade crítica: É o teor de umidade acima do qual o coeficiente de inchamento pode ser considerado praticamente constante e próximo ao máximo.

Coeficiente médio de inchamento (c.m.i.): É a média dos coeficientes de inchamento correspondentes aos pontos de umidade crítica e de inchamento máximo observados.

OBS.: O Coeficiente de Inchamento serve para medir o inchamento sofrido por uma determinada massa de agregado miúdo e é dado pela relação entre o volume final úmido e o volume inicial seco $\Rightarrow (V_h/V_s)$.

Procedimento de Ensaio: [NBR 6467]:

- colher a amostra de acordo com a NBR 7216;
- amostra a ensaiar deve possuir um volume de aproximadamente 30 dm³;
- secar em estufa (110 ± 5) °C até constância de peso;
- determina-se a massa unitária, segundo a NBR 7251 para os seguintes teores de umidade (h%): 0% - 0,5% - 1% - 2% - 3% - 4% - 5% - 7% - 9% e 12%
- para cada teor de umidade, calcular o coeficiente de inchamento de acordo com a expressão:

$$\frac{V_h}{V_0} = \frac{\delta_0}{\delta_h} \times \frac{(100 + h)}{100} \quad \text{Obtida de:} \quad h\% = \frac{P_h - P_0}{P_0} \times 100 \quad \delta_0 = \frac{P_0}{V_0} \quad e \quad \delta_h = \frac{P_h}{V_h}$$

Onde:

V_h = volume do agregado com h % de umidade, em dm³;

V₀ = volume do agregado seco em estufa, em dm³;

V_h/V₀ = coeficiente de inchamento;

δ₀ = massa unitária do agregado seco em estufa, em kg/dm³;

δ_h = massa unitária do agregado com h % de umidade, em kg/dm³;

h = teor de umidade do agregado, em %.

TRAÇADO DA CURVA (VER FIGURA NA PÁG. 74):

- Assinalar os pares de valores (h x V_h/V₀) em gráfico, e traçar a curva de inchamento, de modo a obter uma representação aproximada do fenômeno.
- Determinar a umidade crítica na curva de inchamento, pela seguinte construção gráfica:
 - Traça-se uma tangente à curva de inchamento, paralela ao eixo das umidades no ponto de inchamento máximo;
 - Traça-se uma corda que une a origem ao ponto de tangência obtido anteriormente;
 - Traça-se uma nova tangente à curva, paralela a esta corda;
 - A abscissa do ponto de interseção das duas tangentes é a umidade crítica (**h_{CRÍTICA}**);
 - O coeficiente médio de inchamento (c.m.i.) é determinado pela média entre os coeficientes de inchamento máximo (ponto A) e aquele correspondente à umidade crítica (ponto B).

TRAÇADO DA CURVA DE INCHAMENTO DE AGREGADOS MIÚDOS
NBR 6467 (MB 215)

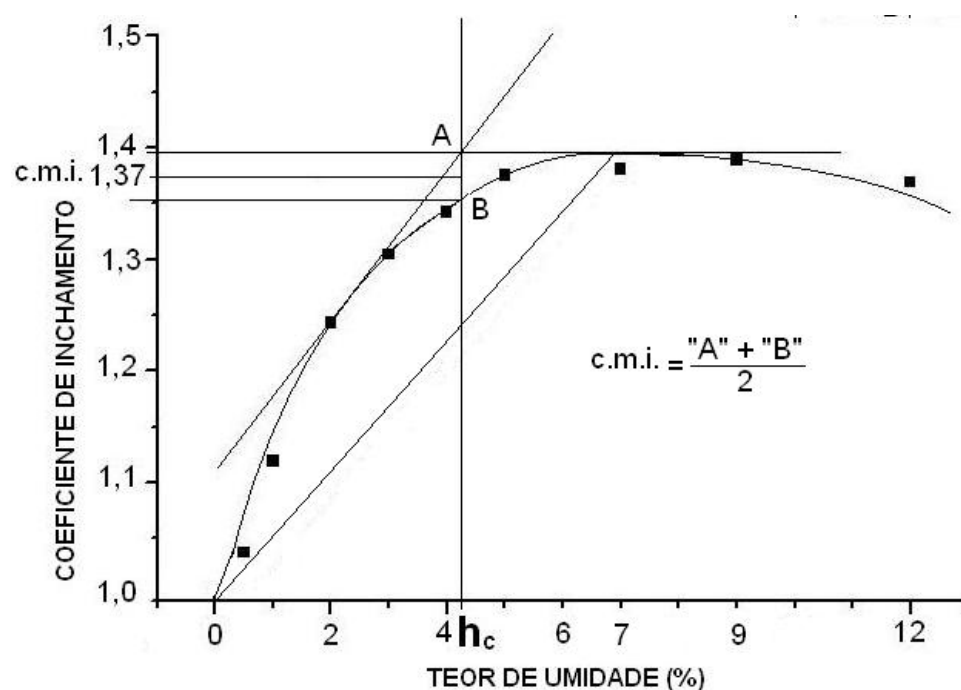
Interessado: CIV237:Aula Prática	Procedência: Ponte Nova
Material: Areia para concreto	Massa da amostra: <u>22,000</u> (kg) (seca em estufa)

Dados da Operação:

(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)
<i>Teor de Umidade (%)</i>	<i>Massa de Água (kg)</i>	<i>Massa de Areia (kg)</i>	<i>Massa Unitária (δ) (kg/dm³)</i>	$\frac{\delta_0}{\delta_h}$	$\frac{V_h}{V_o}$
0	0	23,09	1,374	1	1
0,5	0,11	22,38	1,332	1,032	1,037
1	0,22	20,84	1,240	1,108	1,119
2	0,44	18,95	1,128	1,219	1,243
3	0,66	18,24	1,085	1,266	1,304
4	0,88	17,89	1,065	1,290	1,342
5	1,10	17,63	1,049	1,310	1,375
7	1,54	17,89	1,065	1,291	1,381
9	1,98	18,12	1,078	1,274	1,389
12	2,64	18,89	1,124	1,222	1,369

Dados do recipiente:

Tara (kg) $\Rightarrow$ 7,10	Dimensões (dm) $\Rightarrow$	Volume (dm³) $\Rightarrow$ 16,8
--	--	--





LMC - Laboratório de Materiais de Construção

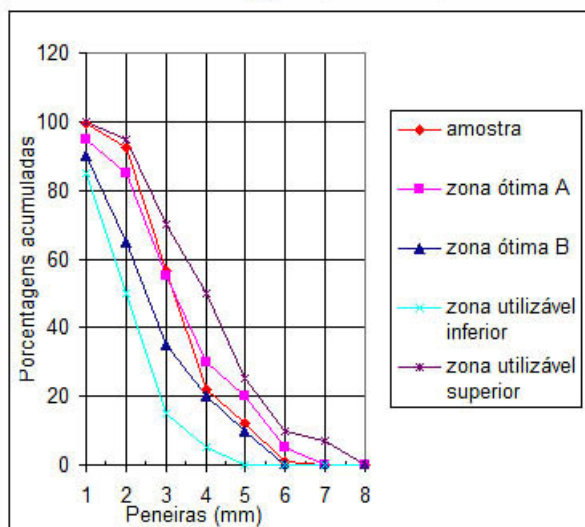
Departamento de Engenharia Civil - DECIV

ENSAIO DE AGREGADO MIUDO - NBR7211/2005



Relatório nº:	LMC- 06/09	Agregado:	Areia Lavada
Data do ensaio:	2/4/2009	Cliente:	TERRO MINERAÇÃO
Período da coleta dos materiais:	Não fornecido	Procedência:	Região de Piranga - MG

GRANULOMETRIA - NBR NM 248							
Peneiras		Peso retido (g)		% Retida			%
Pol.	mm	m1	m2	m1	m2	média	Acum.
3	75						
2 1/2	63						
2	50						
1 1/2	37,5						
1	25						
3/4	19						
1/2	12,5						
3/8	9,5	0	0	0	0	0	0
4	4,75	3	8	0,4	1,1	0,8	1
8	2,36	84	76	12	10,8	11,4	12
16	1,18	66	72	9,4	10,3	9,9	22
30	600µm	249	235	35,6	33,5	34,6	57
50	300µm	248	254	35,4	36,2	35,8	92
100	150µm	48	54	6,9	7,7	7,3	100
fundo:		2	2	0,3	0,3		100
Peso Inicial da Amostra (g):		m1= 700	m2= 700				
Peso final da Amostra (g):		m1= 699	m2= 701				



Classificação Granulométrica:	Areia média
Módulo de finura:	2,83
Dimensão Máxima Característica:	4,75 mm

Impurezas Orgânicas - NBR NM 49		X
Comparação com a solução a 300 p.p.m. clara	Igual	Escura

Massa Específica SSS - NBR NM 52/53 (g/cm³)			
Amostra nº	Leituras		Valor
	Inicial (vi)	Final (vf)	
1	200	390	2,63
2	200	390	2,63
Média			2,63

Massa Unitária NBR NM 45				
Seca	(A)	(B)	(C)	(C-A)/B
	Recipiente		Massa	
	Massa (kg)	Volume (dm³)	Total (kg)	Unitária (kg/dm³)
Amostra Seca nº 1	7,2	16,62	30,38	1,39
Amostra Seca nº 2	7,2	16,62	30,54	1,40
Amostra Seca nº 3	7,2	16,62	30,48	1,40
Média:				1,40
Umidade= 4%	(A)	(B)	(C)	(C-A)/B
	Recipiente		Massa	
	Massa (kg)	Volume (dm³)	Total (kg)	Unitária (kg/dm³)
Amostra Úmida nº 1	-	-	-	-
Amostra Úmida nº 2	-	-	-	-
Amostra Úmida nº 3	-	-	-	-
Média:				-

Material Passante na peneira #200 - NBR NM 46			
Amostra nº	Massa (g)		Teor (%)
	Inicial (mi)	Final (mf)	
1	1000	998	[(mi-mf)/mf]x100
2	1000	998	0,2
Média:			0,20

Absorção de água - NBR NM 30			
Amostra nº	Massa (g)		Teor (%)
	S.S.S P1	Seca P2	
1	804,2	800	[(P1-P2)/P2]x100
2	804,1	800	0,513
Média:			0,518

Torrões de Argila - NBR 7218			
Amostra entre as Peneiras (mm)	Massa (g)		Teor (%)
	Inicial (mi)	Final (mf)	
1,2 e 4,8	200	200	0,00
4,8 e 19	-	-	-
19 e 38	-	-	-
38 e 76	-	-	-
Média:			0,00

Resultado pela NBR 7211	APROVADO	REPROVADO
Granulometria	X	
Torrões de argila	X	
Material pulverulento	X	
Impurezas orgânicas		X
RESULTADO FINAL		

Visto:	ENSAIADO POR	CONFERIDO POR
	ASSINATURAS	
	LABORATORISTA	ENCARREGADO DE L.M.
	Rafael Mendes Teixeira	Prof. Espedito Carvalho
Data:	2/4/2009	2/4/2009

DOSAGEM DOS CONCRETOS

O **traço** define a composição do concreto, e pode ser expresso:

- **em peso:** quando todos os componentes são dados em peso;
 - *- **em volume:** quando todos os componentes são dados em volume;
 - **indicação mista:** (cimento em peso e agregados em volume);
 - * deve ser evitado (o cimento deve ser sempre medido em peso).
- Obs.: para qualquer deles, no entanto, o cimento é tomado como unidade.

NOTAÇÃO ADOTADA:

Observação: A mesma notação será utilizada em todos os processos de dosagem.

Traço Unitário em massa (TU):

- 1** - representa a unidade de massa de cimento (kg)
- a** - relação areia/cimento (kg/kg);
- p** - relação brita/cimento (kg/kg); (pode ser desdobrado em $p_1 + p_2$);
- m = (a + p)** - relação agregado total/cimento (kg/kg);
- x** - relação água/cimento (kg/kg);
- γ** - representa a **massa específica** dos componentes (kg/dm³);
- δ** - representa a **massa unitária** dos mesmos (kg/dm³);
- c.m.i.** - coeficiente **médio** de **inchamento** da areia úmida
- C** - consumo de cimento em kg por m³ de concreto pronto na forma.

Pode-se exprimir o traço de várias maneiras:

a) Traço em massa referido ao kg de cimento (TU):

$$1 : a : p : x \quad \text{ou} \quad 1 : a : p_1 : p_2 : x$$

b) Traço em peso referido ao consumo de cimento por m³ de concreto:

$$C : C_a : C_p : C_x$$

c) Traço dos agregados em volume referido ao kg de cimento:

$$1 : \frac{a}{\delta_a} (\text{c.m.i.}) : \frac{p}{\delta_p} : x$$

A indicação em peso é mais exata, não é todavia a mais utilizada na prática. Nas obras de pequeno vulto é mais usado o traço tipo c, acima, só que referido ao saco de cimento (50kg) e com o uso de padiolas para os agregados, ou seja:

$$1 \text{ sc de cimento: } \frac{50a}{\delta_a} (\text{c.m.i.}) : \frac{50p}{\delta_p} : 50x \text{ (em kg)}$$

MÉTODOS DE DOSAGEM:

Dosagem Empírica → realizada sem ensaiar o material. Utiliza bases arbitrárias, experiência anterior ou a tradição.

“Só permitida em obras de pequeno vulto - $f_{ck} \leq 15 \text{ MPa}$ ”

“É maneira inadequada de proporcionar o concreto”

Dosagem Experimental → realizada em laboratórios, onde, através de ensaios, ficam conhecidos, tanto os componentes, quanto a mistura ideal para aquela aplicação prevista.

NBR 12655/06 – Concreto: preparo, controle e recebimento	
Dosagem Racional e Experimental	Obrigatória para $f_{ck} \geq 15$ MPa (C 15)
Dosagem Empírica	Apenas para $f_{ck} = 10$ MPa (C10), com $C \geq 300$ kg/m ³

FLUXOGRAMA GERAL DE DOSAGENS

(Obs.: ler o quadro de baixo para cima)

Dimensionamento de Padiolas		Resumo Final (para mistura de 1 saco de cimento em betoneira)		Cálculo do consumo de materiais por m³ de concreto	
Traço Unitário Adotado :: 1 : a : p : x					
1- CLÁSSICA (LIVRO DO PETRUCCI) (BASE: C; A % e a/p (TABELADOS))	2 - SIMPLIFICADA (MNEMÔNICA) (BASE: x ; A % e α % (ARBITRADOS))	$f_{cj} = \frac{K_1}{K_2^x}$ 3 -	4 - $f_{cj} = 0,5 R_c (M_1 \log 1/x + M_2)$ ⇒ (valores médios)	5 - BASEADA NA GRANULOMETRIA Ex.: CURVAS IDEAIS; MF ÓTIMO; GRADUAÇÃO ÓTIMA; etc $f_{cj} = \frac{K_1}{K_2^x}$; obtidos em 3 traços #s	6 – BASEADA NA % DE VAZIOS Ex.: $\gamma_{mistura} \times MUC_m$ (O'REILLY) A _G obtido em 3 traços #s
OBEDECE NORMA (C ≥ 300)		CORRELACIONADA (ATENDE f _{cj})		GRANULOMÉTRICOS	MENOR ÍNDICE DE VAZIOS
				PROCESSOS	
NÃO EXPERIMENTAL (EMPÍRICA)				EXPERIMENTAL ou RACIONAL (ENSAIOS)	
FLUXOGRAMA GERAL DE DOSAGENS (VER NOTAÇÃO ADOTADA)					

DOSAGEM EMPÍRICA

Será apresentada pelas formas abaixo:

- 1) **PROCESSO CLÁSSICO** $\Rightarrow$ Livro do Prof. Petrucci
- 2) **PROCESSO SIMPLIFICADO (MNEMÔNICO)** $\Rightarrow$ Fixando-se x e $A\%$.
- 3) **TABELA DE CALDAS BRANCO** (será apresentada uma adaptação para materiais de nossa região)
- 4) **MÉTODO DO ACI (American Concrete Institute)**

Prescrições normativas:

A dosagem não experimental somente será permitida para obras de pequeno vulto, respeitadas as seguintes condições:

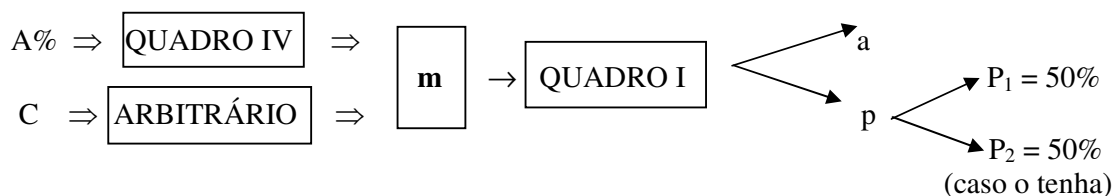
- a) “O consumo mínimo de cimento por m^3 de concreto será de 300kg”.
- b) “A proporção do agregado miúdo no conteúdo total do agregado será fixada de maneira a obter-se um concreto com trabalhabilidade adequada ao seu emprego, devendo estar entre 30% e 50%”
- c) “A água será a mínima compatível com a trabalhabilidade necessária”.

1) PROCESSO CLÁSSICO:

FLUXOGRAMA DO PROCESSO CLÁSSICO:

(obedece notação adotada)

$$m = \frac{265.000 - (88,33 + 2,65A)C}{(100 + 2,65A)C}$$

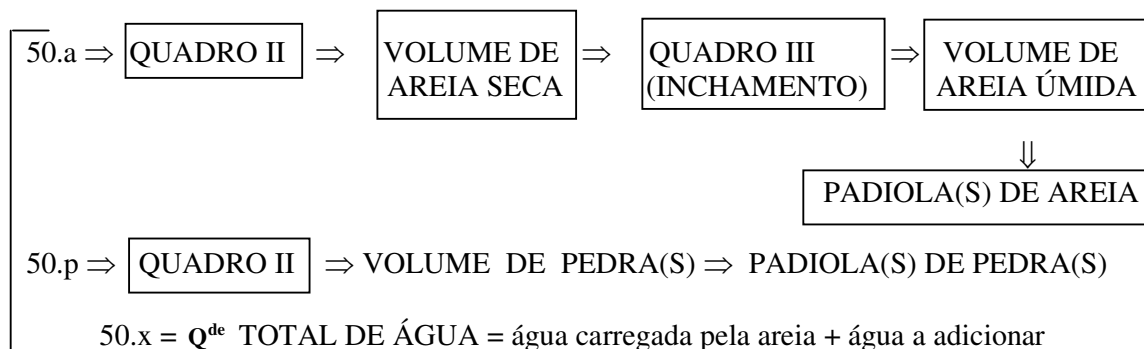


Como $x = f(A, m)$, tem-se todo o traço unitário em peso: **1 : a : p : x**

Dimensionamento de Padiolas

Para a mistura de 1 saco de cimento, tem-se :

T.U. x 50 $\Rightarrow$ 1 Sc. Cimento : 50.a : 50.p : 50.x (em massa)



$\therefore$ água a adicionar = $V = 50.x - h\%$ de 50.a

RESUMO FINAL : 1 Sc de cimento (especificar tipo e classe)

n padiolas (a x b x c) de areia
n' padiolas (a' x b' x c') de brita 1 ou 2
V kg de água a adicionar

Operacionalização do Atendimento à Norma Acima:

a) Quantidade de Cimento:

Com a notação anterior, tem-se no m³ de concreto pronto e adensado (desprezando-se os vazios de ar aprisionado):

$$\begin{array}{ccccccc}
 V_{\text{cim}} + V_{\text{areia}} + V_{\text{britas}} + V_{\text{água}} & = & 1 \text{ m}^3 & = & 1.000 \text{ dm}^3 \\
 \Downarrow & & \Downarrow & & \Downarrow & & \Downarrow \\
 \frac{C}{\gamma_c} + \frac{Ca}{\gamma_a} + \frac{C_p}{\gamma_p} + C_x & = & 1000
 \end{array}$$

onde, γ_c , γ_a e γ_p são massas específicas de cimento, areia e britas.

$$C = \frac{1000}{\frac{1}{\gamma_c} + \frac{a}{\gamma_a} + \frac{p}{\gamma_p} + x}$$

b) Proporção entre os Agregados:

- Nos agregados graúdos, predomina a influência da forma dos grãos.
- A granulometria é o principal fator que governa a atuação do agregado miúdo (devido à sua maior área específica)

Indicações para a melhor composição do agregado:

Agregado Graúdo	% de areia, em peso, no agregado total.			
	Fina		Média	Grossa
Seixo	30		35	40
Brita	40		45	50

(I)

Obs.: Para adensamento manual, somar 4% a cada valor.

massas específicas e massas unitárias (valores médios):

MATERIAL	Massa Unitária δ (kg/dm ³)	Massa Específica γ (kg/dm ³)
Cimento	1,38	3,00
Areia seca	1,40	2,65
Seixo	1,50	2,65
Brita	1,40	2,65

(II)

Obs.: estimar em 4% a umidade da areia, quando não determinada.

indicações relacionadas ao inchamento da areia:

AREIA	Umidade Crítica (%)	Coef. médio de inchamento (c.m.i.)
Fina	2,5	1,30
Média	2,5	1,25
Grossa	2,5	1,20

(III)**c) Quantidade de Água:****valores médios do teor de água / materiais secos (A %):**

Agregado	Adensamento	
	Manual	Vibração
Seixo	8%	7%
Brita	9%	8%

(IV)

Obs.: valores são válidos para:

- DMC = 25mm e

areia natural grossa

Ajustes para outras condições:

Se o DMC for 19mm $\Rightarrow$ somar 0,5% ; para DMC de 38mm $\Rightarrow$ diminuir 0,5%para areia média $\Rightarrow$ somar 1% ; areia fina (MF < 2,4) $\Rightarrow$ somar 2%;para areia artificial $\Rightarrow$ somar 1%**d) Cálculo do Traço:** Da fórmula do consumo vem:

$$C \cdot \left[\frac{1}{\gamma_c} + \frac{a}{\gamma_a} + \frac{p}{\gamma_p} + x \right] = 1000$$

se, $m = a + p$; $\gamma_a = \gamma_p = 2,65$, $\gamma_c = 3,00$, tem-se:

$$0,333 C + \frac{mC}{2,65} + Cx = 1.000 , \text{ mas } x = \frac{A(1+m)}{100}$$

$$\therefore 0,333C + \frac{mC}{2,65} + \frac{CA(1+m)}{100}$$

donde,

$$88,33 C + 100mC + 2,65AC + 2,65 mAC = 265.000$$

$$m = \frac{265.000 - (88,33 + 2,65A)C}{(100 + 2,65A) C}$$

Exemplo de aplicação: determinar o traço e dimensionar as padiolas para um concreto obedecendo à NB-1, com areia média, britas de DMC 38mm ou seja, Brita 2 e usando adensamento vibratório na obra.

Solução:Pela NB-1, $C \geq 300$ kg de cimento por m^3 de concretoQuadro IV $\Rightarrow$ Vibração $\Rightarrow A = 8,5\%$

$$m = \frac{265000 - (88,33 + 2,65 \times 8,5)300}{(100 + 2,65 \times 8,5)300} = \frac{231.752,5}{36.757,5} = 6,30$$

Do QUADRO I $\Rightarrow a = 45\%$ de m $\therefore a = 0,45 \cdot 6,30 = 2,835$

Mas, $p = m - a = 3,465$. Assim, $p_1 = p_2 = p/2 = 1,733$ (para granulometria contínua é recomendável incluir 50% de uma brita 1).

$$A = 8,5 = \frac{x}{1+m} 100 \Rightarrow x = 8,5 \frac{7,30}{100} = 0,62$$

Traço Unitário: $\Rightarrow 1 : 2,835 : 1,733 : 1,733 : 0,62$

Esse traço contém:
$$\left[\begin{array}{l} \alpha \% = \%(cimento + areia) = 52,6\% \\ \% \text{ brita1} = 23,7\% \\ \% \text{ brita2} = 23,7\% \end{array} \right.$$

Dimensionamento de padiolas:

Na betoneira tem-se Traço Unitário x 50, ou seja,
50 : 141,75 : 86,65 : 86,65 : 31 (em kg)

Sugestões p/ padiolas:

- a) Capacidade entre 40 e 60kg de agregado.
- b) para areia $\Rightarrow$ base retangular de 45 x 35cm (ou <, dependendo da boca da betoneira)
- c) para britas $\Rightarrow$ base quadrada e $h \geq 27$ cm

Padiolas de Areia:

Quantidade para mistura de 1 saco de cimento: 3 pad. de 47,25kg cada

Volume de Areia seca: $141,75/1,40 = 101,25 \text{ dm}^3$

retirado do quadro II $\nearrow$

Volume de Areia Úmida = $101,25 \times 1,25 = 126,56 \text{ dm}^3$ (situação mais comum durante as concretagens)
retirado do quadro III (c.m.i) $\nearrow$

Volume por Padiola: $126,56 / 3 = 42,19 \text{ dm}^3$

Altura da Padiola = $\frac{42,19}{4,5 \times 3,5} = 2,68 \text{ dm} = 26,8 \text{ cm}$

Padiolas de Britas:

Quantidade: 2 para cada tipo de brita. Capacidade = 43,32 kg

Volume = $43,32/1,40 = 30,95 \text{ dm}^3$ Para $h = 3,0 \text{ dm}$ $a = \sqrt{30,95/3} = 3,21 \text{ dm}$

Água a adicionar:

Considerando-se a areia com umidade média de 4%, a mesma estará “carregando” 4% de 141,75kg, ou seja, 5,7kg de água, portanto deve-se adicionar na betoneira apenas 25,3kg ou dm^3 de água.

RESUMO: (a ser fornecido ao encarregado da obra)

1 sc de cimento (especificar o tipo e a classe)

3 padiolas (45 x 35 x 26,8)cm de areia

2 padiolas (32,1 x 32,1 x 30)cm de brita 1

2 padiolas (32,1 x 32,1 x 30)cm de brita 2

Água a adicionar: 25,3 litros.

DOSAGEM EMPÍRICA SIMPLIFICADA (MNEMÔNICA)

MATERIAIS DISPONÍVEIS PARA A DOSAGEM	PARÂMETROS A SEREM DEFINIDOS PELO ENGENHEIRO	OPÇÕES
CIMENTO AREIA FINA $\rightarrow MF < 2,4$ AREIA MÉDIA $\rightarrow 2,4 \leq MF \leq 3,3$ AREIA GROSSA $\rightarrow MF > 3,3$ BRITAS $\left\{ \begin{array}{l} b_0 \text{ (DMC)} \cong 1 \text{ cm} \\ b_1 \text{ (DMC)} \cong 2 \text{ cm} \\ b_2 \text{ (DMC)} \cong 4 \text{ cm} \end{array} \right.$ Aditivo Plastificante ? (é Recomendável)	1 - x = Relação A/C	$\leq 0,62 \rightarrow$ ESTRUTURA PROTEGIDA
		$\cong 0,54 \rightarrow$ P/ MENOR PERMEABILIDADE
		$\leq 0,48 \rightarrow$ MEIO AGRESSIVO (industrial, maresia, etc)
	2 - A% (Teor de ÁGUA) QUADRO IV OU	Com brita 1 e areia média/fina, $A\% = 10\%$
		b_1 e b_2 e areia média/grossa, $A\% \cong 9\%$
		c/ aditivo plastificante $\Rightarrow -1\%$
	3 - Teor de Argamassa ($\alpha \%$)	areia F, $\Rightarrow \alpha \cong 50\%$ areia M, $\Rightarrow \alpha \cong 53\%$ a 54% areia G, $\Rightarrow \alpha \cong 58\%$
	4 obedecer à NB-1	($C \geq 300$)

Base para fórmulas:

- 1) $1 + m \rightarrow 100\%$
- 2) $1 \rightarrow \% \text{ Cim}$
- 3) $a \rightarrow \% \text{ areia}$
- 4) $p \rightarrow \% \text{ pedras}$
- 5) $x \rightarrow A\%$
- 6) $(1 + a) \rightarrow \alpha \%$

Exemplo: ①

Areia média, b_1 , sem plastificante, $\Rightarrow (A=10\%)$.
Concreto pouco permeável ($x=0,54$). $\alpha \%$ = 54%
Conferir obediência à NB-1

Solução:

T.U.: $1 : 1,916 : 2,484 : 0,54$

$C = 395 \text{ kg/m}^3$

Exemplo ②

areia Areia média, b_1 , sem plastificante
($A=10\%$)

Concreto protegido ($x=0,60$). $\alpha \%$ = 54%
Conferir obediência à NB-1

Solução:

T.U.: $1 : 2,24 : 2,76 : 0,60$

$C = 355 \text{ kg/m}^3$; R\$ 66,40/ m^3

Exemplo ③

Areia média, b_1 , com plastificante
($A=8,5\%$)

Concreto protegido ($x=0,60$). $\alpha \%$ = 54%
Conferir obediência à NB-1

Solução:

T.U.: $1 : 2,81 : 3,25 : 0,60$

$C=310 \text{ kg/m}^3$; R\$ 59,03

Observação:

O livro **Manual de Dosagem e Controle do Concreto** apresenta uma série de curvas **resistência x Rel. A/C** para vários cimentos e para várias idades, o que pode ser útil para a definição de traços. O problema é que, para resistências baixas ($f_{ck} < 15\text{Mpa}$), podem-se chegar a traços com baixo consumo de cimento, ou seja, relações A/C muito altas. Isso leva a concretos também muito porosos e, como a cura nem sempre é bem realizada, a permeabilidade será alta e a durabilidade do concreto armado poderá ficar muito baixa.

Alguns valores apresentados:

Alguns valores apresentados:

$$\text{- Cimento AF 32 (CP III-32 ?)} : f_{cc3} = \frac{87,7}{44,6^x} ; f_{cc7} = \frac{95,0}{19,5^x} ; f_{cc28} = \frac{121,2}{10,2^x}$$

$$\text{- Cimento CP 32 (CP II -32 ?)} : f_{cc3} = \frac{79,4}{25,9^x} ; f_{cc7} = \frac{86,8}{14,9^x} ; f_{cc28} = \frac{92,8}{7,9^x}$$

Alguns valores obtidos pelo LMC-DECIV:

$$\text{concreto com CP II-E-32: } f_{c28} = \frac{69,218}{4,250^x} \text{ ou } f_{c28} = \frac{123,22}{15,38^x}$$

$$\text{concreto com CP III-32 : } f_{c28} = \frac{86,5}{4,46^x}$$

Pode-se também efetuar a dosagem utilizando a expressão :

$$f_c = 0,5R_c \left(M_1 \log \frac{1}{x} + M_2 \right)$$

Onde,

f_c = Resistência do concreto em Mpa

R_c = Resistência do cimento em Mpa (**47** para CP III-32 e **58** para CP V – ARI, etc)

x = relação A/C

M_1 e M_2 = constantes que variam com a consistência do concreto (O'Reilly)

$$M_1 = 4,6259 - 0,0604.S$$

S = valor da consistência (Slump) do concreto em cm.

$$M_2 = e^{(-1,3125 + 0,0283.S)}$$

Valores de : $M_1 = 4,1427$ e $M_2 = 0,3375$ (para slump 80mm= 8cm)

DOSAGEM EXPERIMENTAL

Introdução:

Teor Ideal de Argamassa:

Na Dosagem Experimental, uma questão de fundamental importância é a definição acertada do teor de argamassa na mistura, ou seja, a porcentagem de **cimento + areia** a ser adotada. A quantidade de argamassa não pode ser pequena, isto é, insuficiente para preencher os vazios entre as partículas de britas e os recantos das formas; nem muito grande capaz de provocar consumo excessivo de água; ambos prejudiciais à resistência e durabilidade do concreto.

Existem vários processos para se obter, na prática, o **teor ideal de argamassa** nas misturas. É importante salientar que o teor ideal **é uma característica intrínseca de cada conjunto de materiais**, variando sempre que se muda qualquer deles. Desde que se encontre o teor ideal, qualquer processo é válido, não existindo um melhor ou mais “moderno”; existem, no entanto, maneiras mais trabalhosas e demoradas de obtê-lo.

Obs.: O teor ideal de argamassa pressupõe uma composição tal para a mistura que se obtém a melhor trabalhabilidade (menor exsudação, maior coesão, melhor preenchimento das formas na concretagem, menor porosidade, etc) com um consumo adequado de água.

Ao final de contas, a melhor composição de cada conjunto de materiais é encontrada por tentativas, mas é válido utilizar-se de orientações formuladas por pesquisadores que promovam ganho de tempo e maior eficácia nessa investigação.

Por questões de didática, e sem prejuízo da qualidade, preferimos adotar os seguintes processos:

- Processo do INT (Instituto Nacional de Tecnologia) para fazer o proporcionamento prévio da mistura. O processo foi proposto pelo pesquisador Fernando Luís Lobo Carneiro e trata de curvas granulométricas ideais para cada dimensão máxima do agregado a ser utilizado. Uma **curva de referência (média entre a curva I e a curva II)** é então utilizada como primeira aproximação para chegarmos ao teor ideal de argamassa. O Módulo de Finura adequado para cada mistura e uma experimentação com análise visual, levam aos ajustes finais para definição da composição a ser adotada.
- Processo de O'Reilly adaptado em nosso laboratório, com a adoção do menor índice de vazios na mistura dos agregados disponíveis, e
- Processo com a fixação do teor de argamassa e do agregado graúdo.

Em seguida a qualquer dos processos citados, a moldagem e rompimento de corpos de prova com um mínimo de três traços diferentes para análise da correlação **resistência x relação A/C**, complementam a dosagem experimental.

Seqüência adotada para sua execução:

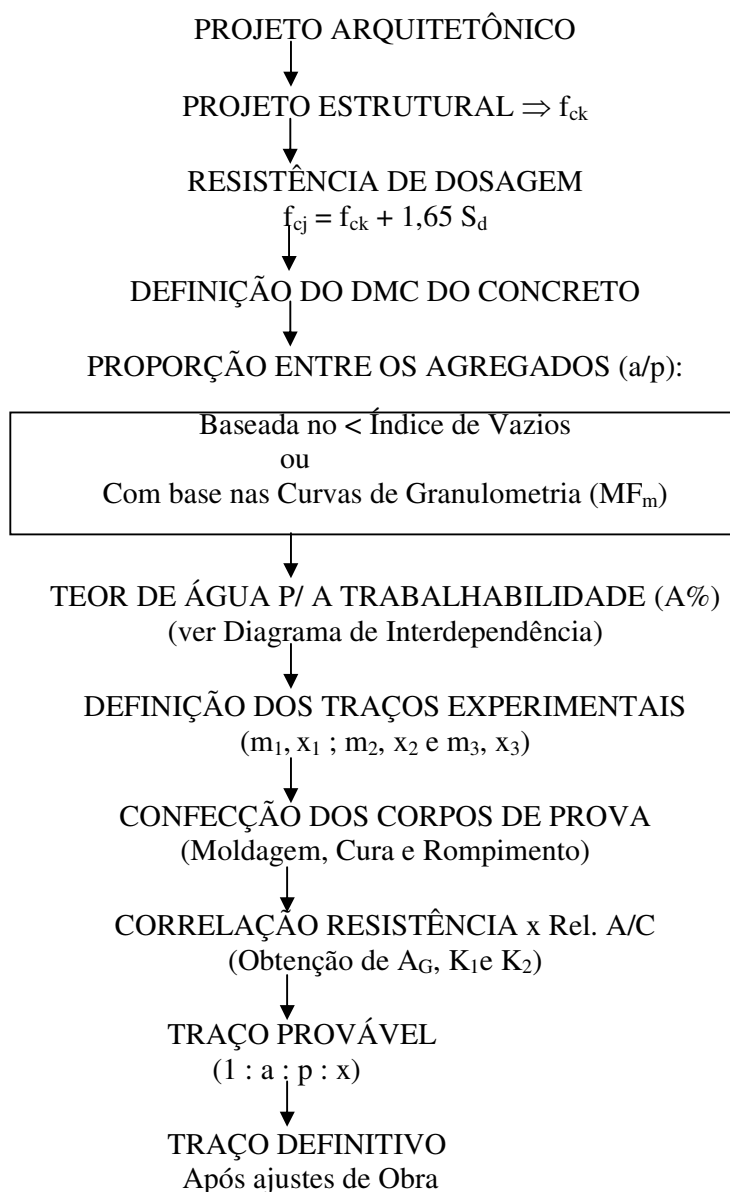


DIAGRAMA DE INTERDEPENDÊNCIA NA DOSAGEM DE UM CONCRETO

Observação: quando se altera o valor de m ; (ou de a ou de p), muda-se o A % e o x.

Detalhamento de Itens Importantes



Resistência do concreto à compressão:

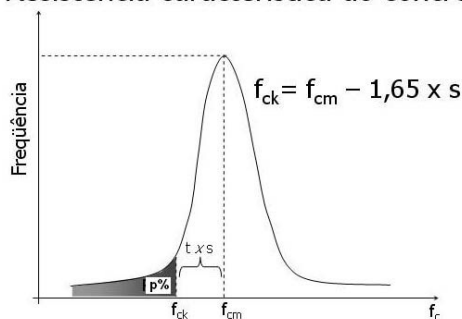
- Resistência característica - f_{ck}
- Resistência de cálculo - f_{cd}
- Resistência de dosagem - f_{cj}

Resistência de cálculo (design)

$$f_{cd} = \frac{f_{ck}}{\gamma_c}$$

- γ_c = coeficiente de minoração da resistência de concreto.
 - Desvios desfavoráveis
 - da resistência do concreto
 - da geometria das peças.
 - Em geral
 - $\gamma_c = 1,4$

Resistência característica do concreto



- f_{ck} = resistência característica
 - Limite inferior em relação ao qual se quer que $p\%$ daqueles valores sejam superiores
- f_{cm} = valor médio da distribuição
- s = desvio padrão da distribuição
- t = coeficiente de Student
 - Função da $p\%$

p(%)	t	Resistência de dosagem do concreto
100	∞	• Atender às condições de variabilidade da produção de concreto. • O desvio padrão (Sd) mede a variabilidade. • $f_{cj} = f_{ck} + 1,65 \times Sd$
99	2,33	
95	1,65	
90	1,28	
85	1,04	
80	0,84	

Valores de Sd:

a) Concreto com desvio padrão conhecido:

- Mesmos materiais
- Equipamentos similares
- Condições equivalentes
- Calcular Sd a partir de:
 - pelo menos 20 resultados consecutivos
 - obtidos em período imediatamente anterior de 30 dias
 -

$$S_d = \sqrt{\sum_{i=1}^n \frac{(f_{ci} - \bar{f}_c)^2}{n-1}}$$

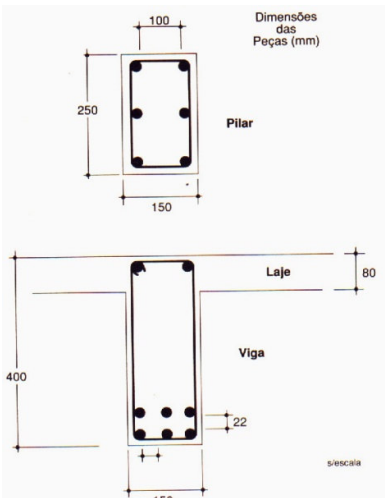
Porém, $S_d \geq 2,0 \text{ MPa}$

b) Para outros concretos, a norma prescreve:

Sd valerá $\begin{cases} 4,0 \text{ MPa} \Rightarrow \text{Condição A} \\ 5,5 \text{ MPa} \Rightarrow \text{Condição B} \\ 7,0 \text{ MPa} \Rightarrow \text{Condição C} \end{cases}$ De acordo com as condições de execução e controle do concreto na obra, definidos pela NBR 12.655 e pela NBR 6118, conforme abaixo:

Condições de preparo do concreto		
Condição A	Condição B	Condição C
Aplicável: C10 a C80	C10, C15 e C20	C10 e C15
cimento e agregados são medidos em massa	cimento em massa agregados em volume	cimento em massa agregados em volume
água: medida em massa ou volume com dispositivo dosador e corrigida em função da umidade dos agregados.	água: medida em volume com dispositivo dosador e corrigida em função da umidade dos agregados (3 x por turma). Volume da areia corrigido pelo c.m.i. da mesma.	água: medida em volume e sua quantidade é corrigida por estimativa da umidade dos agregados e determinação do (Slump Test). $P / C15 \Rightarrow C \geq 350 \text{ kg/m}^3$
Desvio-padrão: $S_d = 4,0 \text{ MPa}$	Desvio-padrão: $S_d = 5,5 \text{ MPa}$	Desvio-padrão: $S_d = 7,0 \text{ MPa}$

Definição do DMC do agregado ou concreto para as dosagens:

 Dimensões das Peças (mm) Pilar Laje Viga escada	Pelas dimensões da peça $DMC \leq 1/4$ da menor distância entre faces da forma $DMC \leq 1/3$ da altura das lajes Pelo espaçamento das armaduras: $DMC < 1,2$ do espaço livre entre duas barras nas camadas horizontais e $DMC < 0,8$ do mesmo espaço nas camadas verticais.
--	--

2 - Proporção entre os Agregados:

Feitas as análises granulométricas dos agregados e seguindo orientações de pesquisadores, ou sistemática adequada, faz-se o proporcionamento dos agregados em % do seu peso total na mistura, ou seja, a areia terá y% do agregado total e, consequentemente, a brita terá (100 - y)% do mesmo, ou ainda, conforme a notação apresentada:

$$a = y \% \text{ de } m ; p = (100 - y)\% \text{ de } m$$

$$m = a + p$$

* escolhidos para efeito de ensino e mostrados a seguir.

Formas de obtenção da relação ótima entre pedra e areia

A literatura é rica em apresentação dos diversos métodos de dosagem, mas não existe um consenso sobre qual deles seria o melhor. O importante, contudo, é que, para cada conjunto de materiais, seja descoberta a relação ótima entre pedra e areia, além do teor ótimo de argamassa. Como relação ótima entende-se aquela mistura que, apresentando a menor porcentagem de vazios, será a mais econômica, pois irá requerer a menor quantidade de pasta para seu preenchimento; assim também estaria sendo adotado o teor ideal de argamassa. Neste mister, é interessante considerar as conclusões de O'Reilly para as situações em que o agregado gráudo possui forma inadequada de grãos, ou seja, grãos em que a maior dimensão supera em quatro vezes, ou mais, a menor dimensão (situação em que as curvas granulométricas, adotadas em extenso número de métodos de dosagem, não funcionam a contento) são elas:

- Após exaustivas pesquisas, ao usar pedra de grãos inadequados do ponto de vista de sua forma, em quantidade de 16 até 31% do peso total do lote (conservando constantes a trabalhabilidade, a energia de adensamento e o consumo de cimento), ficou comprovado que a influência decisiva na resistência não é dada pela granulometria, mas sim pelas características das formas dos grãos da pedra;
- Ao utilizar agregados gráudos com uma quantidade excessiva de grãos inadequados (tipo lâmina ou agulha), não é possível utilizar os métodos clássicos granulométricos para a determinação da proporção ótima entre pedra e areia, porque estas conduzem, na maioria dos casos, a resultados completamente diferentes dos experimentais;

Dosagem pelo método do menor índice de vazios – (O'Reilly modificado)

Seqüência indicada

A porcentagem mínima de vazios no processo O'Reilly é obtida ensaiando-se algumas misturas prévias areia/pedra. Para cada mistura obtém-se a MUC_m, ou seja, Massa Unitária Compactada da mistura pela expressão abaixo:

$$MUC_m = \frac{\text{Massa total compactada da mistura}}{\text{Volume total aparente da mesma}}$$

A massa específica absoluta das misturas será:

$$(\gamma_m)_i = \frac{\gamma_a (\%a)_i + \gamma_p (\%p)_i}{100},$$

onde

$(\gamma_m)_i$ = Massa específica da mistura "i", que possui % de vazios = 0%

γ_a e γ_p = Massas específicas da areia e da pedra (previamente determinadas)

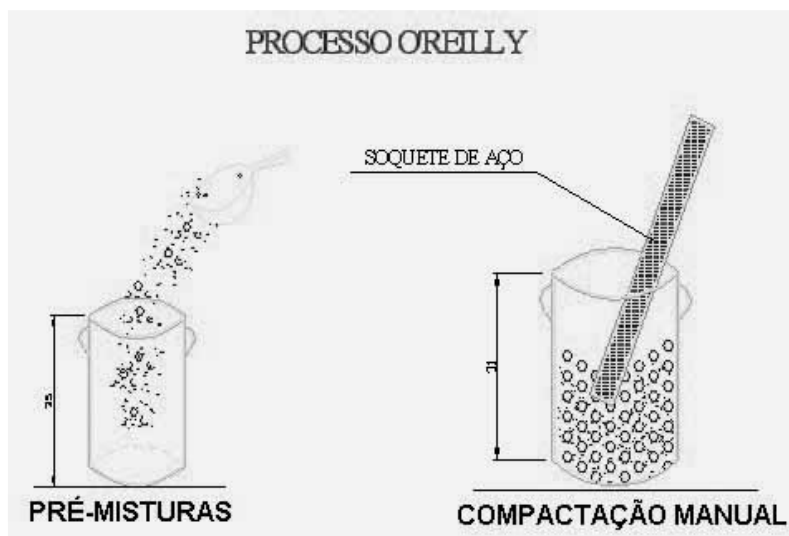
$(\%a)_i$ = porcentagem de areia na mistura "i"

$(\%p)_i$ = porcentagem de pedra na mistura "i"

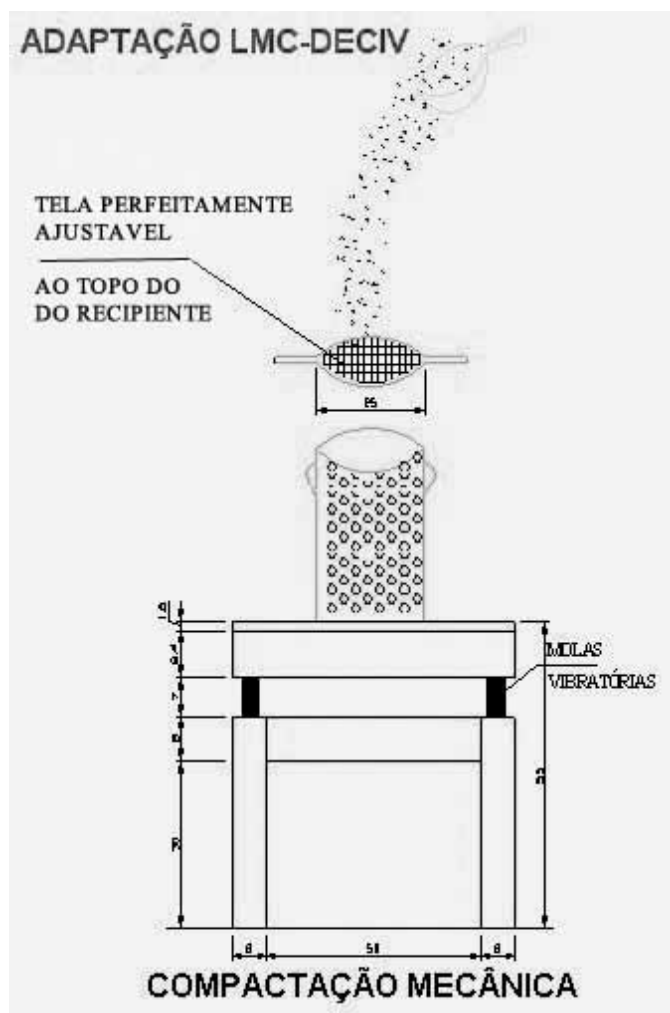
A porcentagem de vazios na mistura será:

$$(\% \text{ vazios})_i = \frac{\gamma_{mi} - MUC_{mi}}{\gamma_{mi}} \times 100$$

Para obter a mínima porcentagem de vazios nos agregados estudados, foram feitas algumas adaptações, conforme mostrado no esquema abaixo:



Nossa Adaptação:



Observações:

- Como se vê na figura acima, com a adaptação a energia de compactação não influi no resultado porque o volume total a ser preenchido pela mistura é mantido constante (a tela é sempre fixada numa posição única); a mesa vibratória é muito mais eficiente que o sistema através de soquete manual, e, após um número adequado de medições experimentais intermediárias, por um processo de regressão, obter-se-á a verdadeira proporção ótima entre aqueles agregados ensaiados;

b) foi utilizado um recipiente cilíndrico com 16,80 dm³ de capacidade.

Experiências Realizadas:

1ª Medição

“brita compactada a $\cong$ 3cm da tela”

Massa de brita = 22,90	kg	→	63,2%
Massa de areia = <u>13,30</u>	“	→	36,8%
Total = 36,20	”	→	MUCm = 2,155 kg /dm ³

$$\gamma_{mistura} = 2,679 \text{ kg} / \text{dm}^3$$

$$\% \text{ Vazios} = 19,57 \%$$

2ª Medição

“brita compactada a $\cong$ 1cm da tela”

Massa de brita = 24,60	kg	→	68,0%
Massa de areia = <u>11,60</u>	“	→	32,0%
Total = 36,20	”	→	MUCm = 2,155 kg /dm ³

$$\gamma_{mistura} = 2,683 \text{ kg} / \text{dm}^3$$

$$\% \text{ Vazios} = 19,68 \%$$

3ª Medição

“brita no estado solto enchendo o recipiente”

Massa de brita = 24,10	kg	→	65,5%
Massa de areia = <u>12,70</u>	“	→	34,5%
Total = 36,80	”	→	MUCm = 2,190 kg /dm ³

$$\gamma_{mistura} = 2,681 \text{ kg} / \text{dm}^3$$

$$\% \text{ Vazios} = 18,32 \%$$

4ª Medição

Massa de brita = 24,20	kg	→	65,94%
Massa de areia = <u>12,50</u>	“	→	34,06%
Total = 36,70	”	→	MUCm = 2,185 kg /dm ³

$$\gamma_{mistura} = 2,681 \text{ kg} / \text{dm}^3$$

$$\% \text{ Vazios} = 18,52 \%$$

5ª Medição

Massa de brita = 23,90	kg	→	65,10%
Massa de areia = <u>12,80</u>	“	→	34,90%
Total = 36,70	”	→	MUCm = 2,184 kg /dm ³

$$\gamma_{mistura} = 2,681 \text{ kg} / \text{dm}^3$$

$$\% \text{ Vazios} = 18,54 \%$$

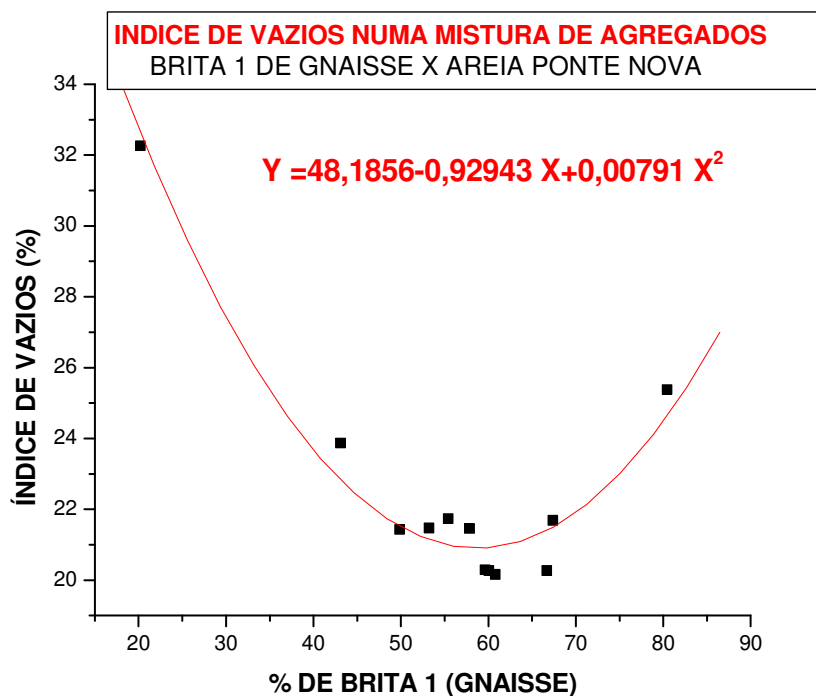
Obtenção dos pontos para o traçado da curva (% de brita x Índice de Vazios)

Dados:

Recipiente: $V=16,8 \text{ dm}^3$ e $tara=7,2\text{kg}$; $\gamma_{pedra} = 2,65\text{kg/dm}^3$; $\gamma_{areia} = 2,63\text{kg/dm}^3$.

Tabela 1: Índice de vazios entre brita 1 gnáissica e areia de Ponte Nova

Ensaio	Massa de brita (kg)	Massa total (kg)	Massa de areia (kg)	% de brita na mistura	% de areia	$\gamma_{mistura}$	MUCm	Índice de Vazios (%)
1	6,06	29,98	23,92	20,21	79,79	2,634	1,784	32,26
2	14,55	33,75	19,20	43,10	56,90	2,639	2,009	23,87
3	17,37	34,85	17,47	49,86	50,14	2,640	2,074	21,43
4	18,54	34,84	16,30	53,22	46,78	2,641	2,074	21,47
5	19,24	34,72	15,49	55,40	44,60	2,641	2,067	21,74
6	20,16	34,85	14,69	57,85	42,15	2,642	2,075	21,46
7	21,09	35,38	14,29	59,62	40,38	2,642	2,106	20,29
8	21,25	35,39	14,13	60,06	39,94	2,642	2,106	20,27
9	21,55	35,44	13,89	60,81	39,19	2,642	2,110	20,16
10	23,61	35,41	11,80	66,67	33,33	2,643	2,108	20,27
11	23,43	34,78	11,34	67,38	32,62	2,643	2,070	21,69
12	26,69	33,17	6,49	80,45	19,55	2,646	1,975	25,38



Relação ótima pedra/areia adotada

Conforme os resultados mostrados na figura abaixo, a mistura que apresenta a menor porcentagem de vazios contém 58,75% de brita de gnáisse e 41,25% de areia.

Assim, para $m = 5,0 \Rightarrow p = 0,5875 \times 5,0 = 2,9375$ e $a = 0,4125 \times 5,0 = 2,0625$

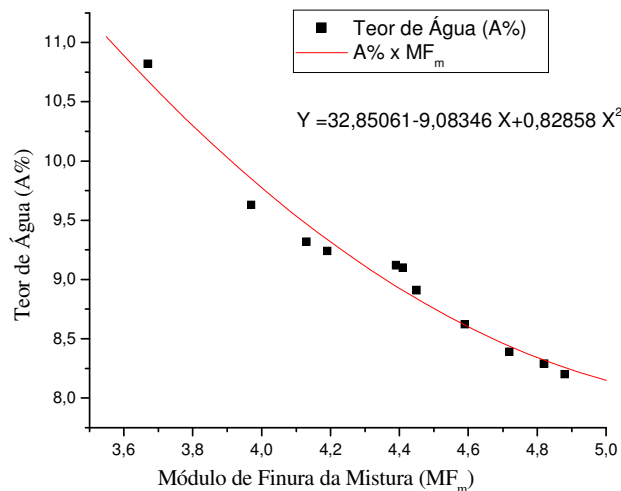
Determinação do teor de água/materiais secos (A %)

Para buscar a equação de correlação teor de água x materiais secos, característica dos materiais estudados para consistência plástica, foram ensaiados 11 traços diferentes, desde o traço 1:2 até 1:7,5. A amostra de areia testada tinha $MF = 2,68$ e a brita calcária, $MF = 7,05$. Todas as misturas tiveram seu Módulo de Finura calculado e apresentaram consistência plástica, com o abatimento do tronco de cone (Slump Test) variando desde 55mm até 92mm. O quadro abaixo apresenta os dados e resultados relevantes sobre a investigação, que usou a brita calcária:

Módulo de Finura	TRAÇO TOTAL	TRAÇO UNITÁRIO (EM MASSA)	Teor de Argamassa	Slump (mm)	Teor de água (A %)
3,67	1 : 2	1: 0,70: 1,30: 0,325	56,67	90	10,82
3,97	1:2,5	1: 0,86: 1,64: 0,337	53,14	70	9,63
4,13	1 : 3	1: 1,05: 1,95: 0,375	51,25	85	9,32
4,19	1:3,4	1: 1,27: 2,13: 0,406	51,59	85	9,24
4,39	1:3,8	1: 1,31: 2,49: 0,438	48,09	80	9,12
4,41	1: 4	1: 1,40: 2,60: 0,467	48,00	80	9,10
4,45	1:4,5	1: 1,66: 2,84: 0,490	48,35	70	8,91
4,59	1: 5	1: 1,75: 3,25: 0,474	45,83	90	8,62
4,72	1: 6	1: 2,10: 3,90: 0,549	44,28	70	8,39
4,82	1: 7	1: 2,45: 4,55: 0,680	43,12	55	8,29
4,88	1:7,5	1: 2,61: 4,89: 0,697	42,44	65	8,20

Aplicando-se regressão linear aos dados de módulo de finura da mistura (MF_m) e teor de água (a%) obteve-se a equação abaixo:

MÓDULO DE FINURA DA MISTURA (MF_m) X TEOR DE ÁGUA (A %):



$A\% = 32,85061 - 9,08346MF_m + 0,82858MF_m^2$ equação que foi aplicada para definição e moldagem dos traços empregados na presente pesquisa.

Determinação experimental da característica " A_G " do agregado

Alguns dos traços que serviram de base para a investigação da equação de correlação entre o teor de água (A%) e o módulo de finura da mistura foram moldados e utilizados na determinação da característica " A_G " do agregado. A característica " A_G " fica conhecida pela média dos resultados obtidos empregando-se a fórmula:

$$"A_G" = \frac{f_{cj}}{R_{cj} \left(M_1 \log \frac{1}{x} + M_2 \right)} \quad \text{Onde,}$$

f_{cj} = Resistência à compressão do concreto na idade de j dias.

R_{cj} = Resistência à compressão do cimento na idade de j dias. (testado concomitantemente)

M_1 e M_2 = Valores dependentes da consistência (Slump) de cada traço ensaiado $\Rightarrow$ tabela 1

x = Relação água / cimento adotada em cada traço ensaiado.

No quadro a seguir são mostrados os dados e resultados obtidos com mais esta experimentação:

TRAÇO TOTAL	Resistência média f_{cj} (MPa)	R_{cj} (14 DIAS)	Slump* (cm)	A_G	Característica A_G
1 : 2 : 0,325	32,54	31,54	9,1	0,479	0,474
1 : 3 : 0,375	30,97	31,54	8,2	0,478	
1 : 4 : 0,467	24,96	31,54	8,1	0,473	
1 : 5 : 0,474	24,55	31,54	9,2	0,473	
1 : 6 : 0,549	20,59	31,54	7,0	0,469	
1 : 7 : 0,680	15,14	31,54	5,5	0,471	

* Os valores de M_1 e M_2 para cálculo de A_G foram obtidos das expressões dadas na página 86 desta apostila, ou seja:

$$M_1 = 4,6259 - 0,0604.S$$

S = valor da consistência (Slump) do concreto em cm.

$$M_2 = e^{(-1,3125 + 0,0283.S)}$$

Valores de M_1 e M_2 Tabelados:

Abatimento (mm)	VALORES DE M_1 e M_2	Abatimento (mm)	VALORES DE M_1 e M_2	Abatimento (mm)	VALORES DE M_1 e M_2
Slump 20	$M_1 = 4,5051$ $M_2 = 0,2848$	Slump 70	$M_1 = 4,2031$ $M_2 = 0,3281$	Slump 120	$M_1 = 3,9011$ $M_2 = 0,3780$
Slump 30	$M_1 = 4,4447$ $M_2 = 0,2930$	Slump 80	$M_1 = 4,1427$ $M_2 = 0,3375$	Slump 130	$M_1 = 3,8407$ $M_2 = 0,3888$
Slump 40	$M_1 = 4,3843$ $M_2 = 0,3014$	Slump 90	$M_1 = 4,0823$ $M_2 = 0,3472$	Slump 140	$M_1 = 3,7803$ $M_2 = 0,4000$
Slump 50	$M_1 = 4,3239$ $M_2 = 0,3101$	Slump 100	$M_1 = 4,0219$ $M_2 = 0,3572$	Slump 150	$M_1 = 3,7199$ $M_2 = 0,4115$
Slump 60	$M_1 = 4,2635$ $M_2 = 0,3189$	Slump 110	$M_1 = 3,9615$ $M_2 = 0,3674$	Slump 160	$M_1 = 3,6595$ $M_2 = 0,4233$

Os traços unitários moldados para a confecção dos corpos de prova seguiram o diagrama de interdependência entre os componentes, apresentado na página 92.

Relações A/C necessárias para as resistências previstas

Considerando concretos com consistência compatível com Slump 70mm, estão apresentados no quadro abaixo os valores das relações Água/Cimento que atendem cada resistência f_{cj} especificada:

valores da relação a/c necessários para cada traço

TRAÇO f_{cj}	A_G	R_{cj}	Slump 70mm		RELAÇÃO A/C (x)
			M_1	M_2	
21,6	0,474	38,1	4,2031	0,3281	0,620
27,6	0,474	38,1	4,2031	0,3281	0,517
31,6	0,474	38,1	4,2031	0,3281	0,458
41,6	0,474	38,1	4,2031	0,3281	0,338

Traços unitários e preparação dos corpos de prova

Conforme, ainda, o referido diagrama da página 145, obtêm-se os valores de $\underline{a}$ e $\underline{p}$ de cada traço pelo processo das tentativas (parte inferior do diagrama). O valor de x que se quer aplicar deve ser compatível com a trabalhabilidade requerida, esta, dada pelo teor de água/materiais secos, o qual está ligado ao módulo de finura da mistura adotada, que, por sua vez, depende dos valores de $\underline{a}$ e $\underline{p}$. É importante lembrar que a areia e a brita entram sempre nas proporções de 34,5% e 65,5%, respectivamente, que conduzem a um menor índice de vazios, conforme experimentação anterior. Como ilustração, a definição do primeiro traço é apresentada abaixo:

Visando-se um concreto com $x = 0,620$, ter-se-ia numa 1ª tentativa:

Arbitrando $m = 6,000$; $a = 34,5\%$ de $6,000 = 2,070$ e $p = 65,5\%$ de $6,000 \therefore p = 3,930$

Assim, $\%Cim = 100/7,000 = 14,286\%$, $\Rightarrow \%a = 29,571\%$ e $\%p = 56,146\%$

O Módulo de Finura será: $MF_m = (29,571 \times 2,68 + 56,146 \times 7,05)/100 = 4,751$

$$A\% = (32,85061 - 9,08346MF_m + 0,82858MF_m^2) \times 4,751 = 8,400 \%$$

$$\therefore x = 8,400(1 + 6)/100 = \mathbf{0,588 < 0,620}$$

2ª tentativa:

$p/m = 6,250$; $a = 34,5\%$ de $6,250 = 2,156$ e $p = 65,5\%$ de $6,250 \therefore p = 4,094$

Assim, $\%Cim = 100/7,250 = 13,793\% \Rightarrow \%a = 29,738\%$ e $\%p = 56,469\%$

O Módulo de Finura será: $MF_m = (29,738 \times 2,68 + 56,469 \times 7,05)/100 = 4,778$

$$A\% = (32,85061 - 9,08346MF_m + 0,82858MF_m^2) \times 4,778 = 8,372 \%$$

$$\therefore x = 8,372(1 + 6,25)/100 = \mathbf{0,607 < 0,620}$$

3ª tentativa:

$p/m = 6,320$; $a = 34,5\%$ de $6,320 = 2,180$ e $p = 65,5\%$ de $6,320 \therefore p = 4,140$

Assim, $\%Cim = 100/7,32 = 13,661\% \Rightarrow \%a = 29,781\%$ e $\%p = 56,557\%$

O Módulo de Finura será: $MF_m = (29,781 \times 2,68 + 56,557 \times 7,05)/100 = 4,785$

$$A\% = (32,85061 - 9,08346MF_m + 0,82858MF_m^2) \times 4,785 = 8,361 \%$$

$$\therefore x = 8,361(1 + 6,32)/100 = \mathbf{0,612 < 0,620}$$

4ª tentativa:

$p/m = 6,430$; $a = 34,5\%$ de $6,430 = 2,218$ e $p = 65,5\%$ de $6,430 \therefore p = 4,212$
 Assim, $\%Cim = 100/7,430 = 13,459\% \Rightarrow \%a = 29,852\%$ e $\%p = 56,689\%$

O Módulo de Finura será : $MF_m = (29,852 \times 2,68 + 56,689 \times 7,05)/100 = 4,797$

$$A\% = (32,85061 - 9,08346MF_m + 0,82858MF_m^2) \times 4,797 = 8,345 \%$$

$$\therefore x = 8,345 (1 + 6,430)/100 = \mathbf{0,620 \quad OK!}$$

O traço unitário a ser adotado seria: **1 : 2,218 : 4,212 : 0,620**

Montando-se um pequeno algoritmo no Excel, ou outro programa, pode-se facilitar a obtenção deste tipo de ajuste. Os demais traços seriam:

$$P/x = 0,517 \Rightarrow m = 5,038 \Rightarrow \text{T.U.: } 1 : 1,738 : 3,300 : 0,517$$

$$P/x = 0,458 \Rightarrow m = 4,212 \Rightarrow \text{T.U.: } 1 : 1,453 : 2,759 : 0,458$$

$$P/x = 0,338 \Rightarrow m = 2,354 \Rightarrow \text{T.U.: } 1 : 0,817 : 1,551 : 0,338$$

Consumo de Materiais em cada traço

Para a confecção de 24 corpos de prova cilíndricos 100 x 200mm, necessitam-se de 40 dm³ de concreto, sendo pesadas as seguintes quantidades de materiais por traço:

Cálculo da Quantidade de Materiais:

Aplicando-se a conhecida expressão:

$$C = \frac{40}{\frac{1}{\gamma_c} + \frac{a}{\gamma_a} + \frac{p}{\gamma_p} + x} ; \quad (1 : a : p : x) \Rightarrow \text{traço unitário adotado}$$

C = consumo de cimento em kg para 40dm³

PROPORCIONAMENTO ENTRE OS AGREGADOS

CURVAS GRANULOMÉTRICAS DE REFERÊNCIA – INT

Obs.: Porcentagens Acumuladas

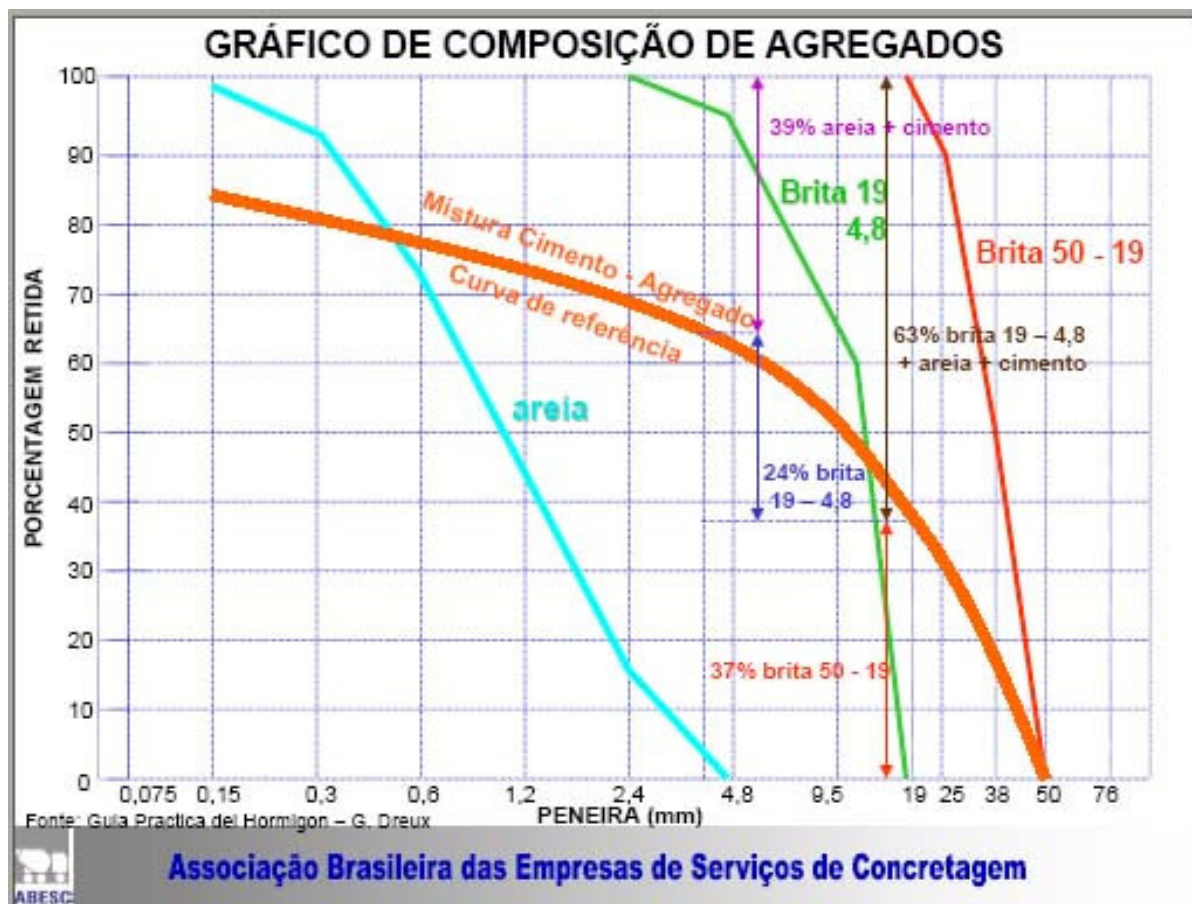
Φ (mm)	DMC=9,5		DMC=19		DMC=25		DMC=38	
	I	II	I	II	I	II	I	II
38	0	0	0	0	0	0	0	0
25	0	0	0	0	0	0	14	17
19	0	0	0	0	13	12	23	26
9,5	0	0	22	26	29	35	37	45
4,8	22	26	37	45	42	51	49	58
2,4	37	45	49	58	53	62	59	67
1,2	49	58	59	67	61	68	67	74
0,6	59	67	66	74	69	76	74	78
0,3	67	74	74	79	74	80	77	82
0,15	74	79	77	82	80	83	80	84
MF	3,08	3,49	3,84	4,32	4,21	4,67	4,66	5,14

Observações.:

a) As curvas I geram misturas com maior teor de argamassa, sendo mais indicadas para as construções correntes onde não há grande energia de vibração para o adensamento do concreto. Já as curvas II, dependendo da forma dos grãos dos agregados, podem apresentar teor insuficiente de argamassa para uma boa concretagem.

Por isso, em muitos casos, a curva média entre I e II dá boa alternativa

b) O teor de argamassa corresponde a $\alpha \% = (\text{cimento} + \text{areia}) \% \text{ na mistura seca } (1+m)$.



**EXEMPLO DE PROPORCIONAMENTO ENTRE OS AGREGADOS
(GRANULOMETRIA DO CONCRETO) - MÉTODO DO INT**

Utilizando-se um traço total auxiliar 1:6 e os materiais cujas granulometrias são dadas abaixo, proporcionar os agregados a fim de que a curva granulométrica da mistura adotada (concreto seco) atenda a Curva I de Lobo Carneiro (INT) em termos de Módulo de Finura, ou seja, $MF \geq 4,21$.

Obs.: O cimento tem Módulo de Finura igual a 0 (zero).

DADOS:: Ver Quadro I

(Quadro I)

PENEIRAS (aberturas em mm)	PORCENTAGENS ACUMULADAS		
	Areia	Brita 0	Brita 1
50			
38			
25	0	0	3
19	0	0	33
9,5	0	5	95
4,8	5	56	100
2,4	12	84	100
1,2	26	91	100
0,6	44	94	100
0,3	70	96	100
0,15	93	98	100
FUNDO	100	100	100
D.M.C. (mm)	4,8	9,5	25*
Módulo de Finura	2,50	5,24	7,31

* DMC do concreto que usará essa brita 1 como maior agregado.

Solução:

Pelo método gráfico de proporcionamento mostrado a seguir (Quadro II), a mistura procurada terá a seguinte composição :

$$\left\{ \begin{array}{l} \alpha \% = \% \text{ (cimento + areia)} = 45\% \\ \qquad \qquad \% \text{ brita 0} = 26\% \\ \qquad \qquad \% \text{ brita 1} = 29\% \end{array} \right.$$

no traço 1:6, %Cim = 14,29%, assim $\% \text{ areia} = (45 - 14,29)\% = 30,71\%$

Traço em % :: 14,29% : 30,71% : 26% : 29% : A% (todos os componentes em %)

Traço Unitário: ($\div 14,29$) $\Rightarrow :: 1 : 2,15 : 1,82 : 2,03$, ou seja, 1:6.

Verificação:

O cálculo do Módulo de Finura da mistura representada pelo traço acima pode ser feito de duas formas, a saber:

- Pela granulometria **(Quadro III)**
- Pela média ponderada dos módulos de finura dos componentes, onde a participação percentual de cada um forma o conjunto dos pesos respectivos:

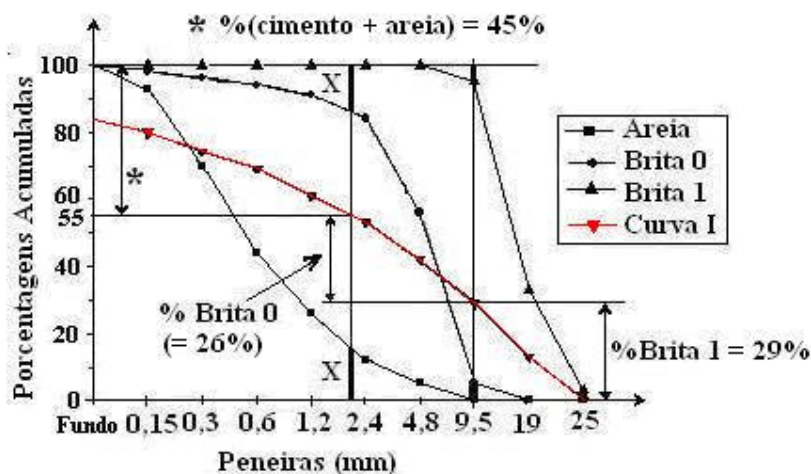
$$MFm = (a\% \cdot MFa + p_0 \% \cdot MFp_0 + p_1 \% \cdot MFp_1) / 100 =$$

$$(30,71 \times 2,5 + 26 \times 5,24 + 29 \times 7,31) / 100 \therefore MFm = 4,25 \cong 4,21 \text{ da Curva 1 .}$$

Obs.: A parcela %Cim x MFcim = 0, sendo desprezada.

PROCESSO GRÁFICO – Ver (Quadro II)

Quadro II



Processo Gráfico: Consiste de verticais para separar os agregados dois a dois. Cada vertical é única porque os segmentos externos são iguais (parte abaixo de uma curva = à parte acima da outra).

Os pontos de intersecção entre as verticais e a curva de referência (no caso, curva I) são pontos notáveis que definem a composição desejada para a mistura.

Assim, a vertical que divide areia e brita 0 corta a curva I no ponto de ordenada 55%, significando que 45% da mistura será composta de finos, ou seja, cimento + areia.

Os outros 55% serão de britas (0 + 1).

Para proporcionar as britas, outra vertical; essa, por acaso, passará em cima da peneira 9,5mm (5% abaixo da curva da brita 0 igual a 5% acima da curva da brita 1). O ponto de intersecção dessa vertical com a curva I se dá exatamente na ordenada 29%.

A percentagem de brita 1 na mistura será então 29% e a brita 0 complementa os 55%, ou seja, 26%. (É como se a curva de referência fosse formada por 3 parcelas; o pé da curva recebe contribuição do material grosso (brita 1), o meio pelo material intermediário (brita 0) e a ponta pelo material fino (cimento + areia).

No Quadro III é feita a verificação da efetividade do processo gráfico como auxiliar no proporcionamento dos agregados segunda uma curva de referência:

OBTENÇÃO DO MÓDULO DE FINURA DA MISTURA PROCESSO GRANULOMÉTRICO

TRAÇO UNITÁRIO DA MISTURA :: 1 : 2,15 : 1,82 : 2,03

(Quadro III)

PENEIRAS (mm)	Material Retido (g)				% s Retidas	% s Acumuladas	Curva de Referência Curva I
	Areia	Brita 0	Brita 1	Σ			
38	-	-	-	-	-	-	-
25	0	0	61	61	0,9	1	0
19	0	0	609	609	8,7	10	13
9,5	0	91	1259	1350	19,3	29	29
4,8	107	928	101	1136	16,2	45	42
2,4	151	510	-	661	9,4	54	53
1,2	301	127	-	428	6,1	61	61
0,6	387	55	-	442	6,3	67	69
0,3	559	37	-	596	8,5	75	74
0,15	495	36	-	531	7,6	83	80
FUNDO	150	36	-	1186*	17,0	100	100
TOTAL	2150	1820	2030	7000	100		
Módulo de Finura da mistura seca						4,25	4,21

4 - Relação A/C necessária para a resistência f_{cj} :

Com o proporcionamento de $\underline{a}$ e $\underline{p}$ definido acima, moldam-se 3 traços distintos m_1 , m_2 e m_3 com relações A/C x_1 , x_2 e x_3 definidos conforme o diagrama da página 145.

Após período de cura e rompidos os corpos de prova na idade prevista, traça-se a curva resistência x relação A/C característica dos materiais em estudo. Ou, pode-se calcular as constantes K_1 e K_2 da fórmula de Abrams pelo processo dos mínimos quadrados. (ver exemplo na página seguinte).

$$f_c = K_1 / K_2^x \quad \text{Assim,}$$

$$x_{nec} = \frac{\log K_1 / f_{cj}}{\log K_2}$$

5) - Relação A/C Necessária para a Durabilidade:

Conforme as condições de utilização do concreto e consultando-se manuais técnicos (tabela do ACI, etc) chega-se a uma relação A/C necessária para a durabilidade.

6) - Traço Definitivo:

Toma-se x_{Def} como o de menor valor entre aqueles dos itens 4 e 5 anteriores.

$$\text{O } m_{Def} \text{ será dado pela expressão: } m_{Def} = \frac{100x}{A_{Def}} - 1$$

Depois dos ajustes de obra, Traço a ser adotado : 1 : a_{Def} : p_{Def} : x_{Def}

CÁLCULO DA EQUAÇÃO DE CORRELAÇÃO RESISTÊNCIA X RELAÇÃO A/C

Abrams:
$$f_c = \frac{K_1}{K_2^x} \quad \log f_c = \log K_1 - x \log K_2$$

Para cada par de valores de f_c e x , a equação deveria ser satisfeita, mas há um pequeno erro de ajustagem.

Na realidade: $\log K_1 - x \log K_2 - \log f_c = \varepsilon$ (erro), que é expressão do tipo:

$$aX + bY - 1 = \varepsilon \quad \text{onde, } a = 1; b = -x; 1 = \log f_c$$

$$X = \log K_1; Y = \log K_2; \varepsilon = \text{erro}$$

Pelo processo dos mínimos quadrados, obtêm-se os valores das incógnitas X e Y .

Exemplo: Determinar K_1 e K_2 para tres traços que apresentaram os seguintes valores experimentais : (item 4 do trabalho e dosagem).

$$T1 \Rightarrow F1 = 61.500\text{kgf}; x1 = 0,50$$

$$T2 \Rightarrow F2 = 54.000\text{kgf}; x2 = 0,58$$

$$T3 \Rightarrow F3 = 38.000\text{kgf}; x3 = 0,70$$

Mas, $f_c = F/S$; $S = 176,71\text{cm}^2 \Rightarrow$ cilindro com 15cm de diâmetro x 30cm de altura

$$\begin{cases} f_{c1} = 348,0 \text{ kgf/cm}^2 = 34,80\text{MPa} \\ f_{c2} = 305,6 \text{ kgf/cm}^2 = 30,56\text{MPa} \\ f_{c3} = 215,0 \text{ kgf/cm}^2 = 21,50\text{MPa} \end{cases} \therefore \begin{cases} X - 0,50Y - \log 34,80 = \varepsilon_1 \quad (1) \\ X - 0,58Y - \log 30,56 = \varepsilon_2 \quad (2) \\ X - 0,70Y - \log 21,50 = \varepsilon_3 \quad (3) \end{cases}$$

Tem-se:

$$\begin{cases} X - 0,50Y - 1,542 = \varepsilon_1 \quad (1) \\ X - 0,58Y - 1,485 = \varepsilon_2 \quad (2) \\ X - 0,7Y - 1,332 = \varepsilon_3 \quad (3) \end{cases}$$

Elevando-se ao quadrado as expressões (1), (2) e (3), tem-se

$$\begin{cases} \varepsilon_1^2 = X^2 + 0,250Y^2 + 2,378 - 1,00XY - 3,084X + 1,542Y \\ \varepsilon_2^2 = X^2 + 0,336Y^2 + 2,205 - 1,16XY - 2,970X + 1,723Y \\ \varepsilon_3^2 = X^2 + 0,490Y^2 + 1,774 - 1,40XY - 2,664X + 1,865Y \end{cases}$$

fazendo-se o somatório, vem:

$$\Sigma \varepsilon_i^2 = 3X^2 + 1,076Y^2 - 3,56XY + 8,718X + 5,130Y$$

Os valores de X e Y que tornarão mínimo o somatório serão aqueles que anulam as derivadas parciais, conforme abaixo:

$$\begin{cases} \frac{\partial \Sigma \varepsilon_i^2}{\partial X} = 0 \Rightarrow 6X - 3,56Y - 8,718 = 0 \\ \text{e} \\ \frac{\partial \Sigma \varepsilon_i^2}{\partial Y} = 0 \Rightarrow -3,56X + 2,152Y + 5,130 = 0 \end{cases}$$

Resolvendo-se este sistema de equações, tem-se

$$X = 2,090 \quad \text{e} \quad Y = 1,074 \quad \text{mas, } X = \log K_1 \therefore K_1 = 123,12$$

$$\text{e } Y = \log K_2 \therefore K_2 = 11,86$$

A equação de Abrams para esses materiais será, então:

$$f_c = \frac{123,12}{11,86^x}$$

Entrando-se com o valor de f_c , obtém-se o x correspondente ou vice-versa.

Na dosagem experimental, o valor a ser atendido é o da resistência de dosagem f_{cj} que está ligado estatisticamente à resistência característica prevista para o concreto e usada no projeto estrutural e ao tipo de controle previsto para a obra.

DOSAGEM EMPÍRICA PELO MÉTODO DO ACI

EXEMPLO PARA CÁLCULO

1 – Especificações:

- **Tipo da construção:** Sapata de concreto armado
- **Grau de exposição:** Fraca (sob solo isento de risco de congelamento ou ataque por sulfatos)
- **Dimensão máxima característica (DMC):** 38mm
- **Abatimento (Slump):** 75 a 100mm
- **Resistência Característica à Compressão (f_{ck}):** 20 MPa

2 – Características dos Materiais Disponíveis:

Propriedade	Cimento (tipo I)	Agregado Miúdo	Agregado Graúdo
Massa Específica (γ)	3,15 (kg/dm ³)	2,60 (kg/dm ³)	2,70(kg/dm ³)
Massa Unitária compactada	-	-	1,60
Módulo de Finura	0	2,80	7,70
Umidade efetiva (livre)	-	2,5	0,5

Solução:

Admitindo-se uma condição B de controle na execução, a resistência de dosagem será:

$F_{cj} = 20 + 1,65 \times 5,5 = 29,075$. Para um concreto sem ar incorporado, pela Tabela 9-3, a relação $A/C = x = 0,555$.

Na Tabela 9-2, para um Slump de 75 a 100mm e DMC de 38mm, o consumo de água seria 178kg/m³. Para se obter uma rel. A/c de 0,555, ter-se-ia um Consumo de Cimento $C = 321 \text{ kg/m}^3$.

Na Tabela 9-5 obtém-se um volume de britas (no estado seco e compactado) de 0,74m³ quando a areia tem MF = 2,80. Como a massa unitária compactada do graúdo é 1,60, tem-se um consumo de 1.184kg de britas no m³ de concreto; total a ser dividido na base de 50% entre brita 1 e brita 2.

Nessas condições, o volume de areia (V_a) a ser consumido no concreto será o complemento para um m³. Assim, $V_a = 1000 - V_{\text{pasta}} - V_{\text{britas}}$.

$$V_{\text{pasta}} = 321/3,15 + 178 \cong 280 \text{ dm}^3; \quad V_{\text{britas}} = 1184/2,70 = 438,52 \text{ dm}^3.$$

$$\therefore V_a = 1000 - (280 + 438,52) = 281,48 \text{ dm}^3. \text{ Assim, } C.a = 281,48 \times 2,60 = 731,85 \text{ kg/m}^3.$$

Traço total: : 321 : 731,85 : 592 : 592 : 178 ; ou (1 : 5,97 : 0,555)

Traço Unitário: $\Rightarrow 1 : 2,28 : 1,844 : 1,844 : 0,555$.

Nesse concreto, $A\% = 7,96\%$. Parece bastante baixo para se conseguir o Slump previsto.

TABELA 9-3 CORRELAÇÃO ENTRE RELAÇÃO ÁGUA/CIMENTO E RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO DO CONCRETO

Resistência a compressão a 28 dias* em MPa	Relação água/cimento em massa	
	Concreto sem ar incorporado	Concreto com ar incorporado
41	0,41	—
34	0,48	0,40
28	0,57	0,48
21	0,68	0,59
14	0,82	0,74

* Valores médios estimados de concretos contendo não mais que a porcentagem de ar mostrada na Tabela 9-2. Para uma relação água/cimento constante, a resistência do concreto é reduzida quando o teor de ar é aumentado. A resistência está baseada em cilindros de Ø=15 cm e altura 30 cm, curados durante 28 dias a temperatura de $(23 \pm 1,7) ^\circ\text{C}$ de acordo com a seção 9(b) da *ASTM C 31*¹⁵, que trata da moldagem e cura, em canteiro de obras, de corpos de prova de concreto destinados aos ensaios de flexão e compressão axial.

Origem da tabela: reproduzida com a permissão do “American Concrete Institute”.

TABELA 9-5 VOLUME DE AGREGADO GRAÚDO POR UNIDADE DE VOLUME DE CONCRETO

Dimensão máxima característica do agregado, em mm	Volume de agregados* secos por unidade de volume de concreto para os seguintes módulos de finura da areia			
	2,40	2,60	2,80	3,00
9,5	0,50	0,48	0,46	0,44
12,5	0,59	0,57	0,55	0,53
19	0,66	0,64	0,62	0,60
25	0,71	0,69	0,67	0,65
38	0,75	0,73	0,71	0,69
50	0,78	0,76	0,74	0,72
75	0,82	0,80	0,78	0,76
150	0,87	0,85	0,83	0,81

* Os volumes estão baseados em agregados na condição seca e compactada conforme descrito na *ASTM C 29*¹⁷ que trata da determinação da massa unitária do agregado. Esses volumes são obtidos a partir de relações empíricas para produzir concretos com trabalhabilidade adequada aos métodos construtivos usuais. Para concretos destinados a pavimentos, menos trabalháveis, pode ser acrescentado até 10 % a mais de agregados. Para concretos mais trabalháveis, como algumas vezes requeridos em certos bombeamentos, os volumes podem ser reduzidos de até 10 %.

Origem da tabela: reproduzida com a permissão do “American Concrete Institute”.

TABELA 9-2 CONSUMO APROXIMADO DE ÁGUA E TEOR DE AR REQUERIDO EM FUNÇÃO DO ABATIMENTO DO TRONCO DE CONE E DA DIMENSÃO MÁXIMA CARACTERÍSTICA DO AGREGADO GRAUÍDO

Abatimento, em mm	Consumo de água*, em kg/m³							
	Dimensão máxima característica do agregado, em mm							
	9,5	12,5	19	25	38	50†	75†	150†
25	208	199	187	178	163	154	130	113
75 a 100	228	217	202	193	178	169	145	125
150 a 175	243	228	214	202	187	178	160	—
Mais de 175*	—	—	—	—	—	—	—	—
Teor aproximado de ar aprisionado, em %	3	2,5	2	1,5	1	0,5	0,3	0,2
25 a 50	181	175	166	160	148	142	122	107
75 a 100	202	193	181	175	163	157	133	119
150 a 175	217	205	193	184	172	166	154	—
Mais de 175**	—	—	—	—	—	—	—	—
Teor recomendável total de ar, em %, em função do grau de exposição:								
Fraco	4,5	4,0	3,5	3,0	2,5	2,0	1,5***	1,0***
Moderado	6,0	5,5	5,0	4,5	4,5	4,0	3,5***	3,0***
Severo††	7,5	7,0	6,0	6,0	5,5	5,0	4,5***	4,0***

* O consumo de água para concreto com ar incorporado está baseado no teor total de ar correspondente à exposição moderada.

† O abatimento do tronco de cone para concretos com agregado de dimensão máxima característica superior a 38 mm está baseado no ensaio de abatimento efetuado sobre o concreto peneirado, eliminando-se as partículas superiores a 38 mm.

** Os concretos com agregados de dimensão máxima característica superior a 38 mm, peneirados antes da determinação do teor de ar, terão, provavelmente, ar nos teores indicados na coluna correspondente à dimensão 38 mm. Entretanto para o cálculo inicial deverá ser utilizado os valores desta tabela, correspondentes ao concreto integral.

†† Empregando-se agregados de grandes dimensões e baixos consumos de cimento, é necessário observar que o ar aprisionado não comprometa a resistência desejada. Na maioria dos casos o consumo de água é reduzido o suficiente para compensar a perda de resistência que haveria com a inclusão de ar. Geralmente, entretanto, para dimensões superiores a 38 mm, em condições de exposição severa, o teor de ar incorporado é sempre recomendável, mesmo quando há pouca ou nenhuma exposição à umidade e ciclos de congelamento e descongelamento.

TABELA TIPO CALDAS BRANCO

TABELA TIPO "CALDAS BRANCO" ATUALIZADA PELO PROF. ESPEDITO F. T. DE CARVALHO
Laboratório de Concreto / DECIV / Escola de Minas / UFOP - 2003

TRAÇO TOTAL 1 : m	ALTURAS PADIOLAS base de 42 x 35 cm		Nº de Padiolas por 1 saco de cimento		FATORES Relação A / C		TRAÇO UNITÁRIO AREIA: BRITA 1 EM PESO	Nº do TRAÇO	Consumo por m³ de Concreto Fresco				Classe do Cimento Usado	Resistênc. Média a 28d. (MPa)		
	Areia	Brita 1	Areia	Brita 1	1 / saco	x			Cimento kg	Sc seca	Água úmida	Brita 1 (litros)			Água (litros)	
1 : 3,0	33,6	23,3	1	2	19,6	0,392	1,08 : 1,92	1	538	10,76	415	531	738	211	32	32,6
1 : 3,5	20,8	26,2	2	2	21,6	0,433	1,34 : 2,16	2	479	9,58	459	587	739	207	32	29,6
															40	37,5
															ARI	45,4
1 : 4,0	24,9	29,2	2	2	23,7	0,475	1,60 : 2,40	3	431	8,62	493	630	739	205	32	27,0
1 : 4,5	28,9	21,4	2	3	25,8	0,516	1,86 : 2,64	4	393	7,85	521	668	740	203	40	31,0
															ARI	37,5
															32	22,3
1 : 5,0	33,0	23,3	2	3	27,9	0,558	2,12 : 2,88	5	360	7,20	545	698	741	201	40	28,1
1 : 5,5	24,7	25,3	3	3	30,0	0,600	2,38 : 3,12	6	332	6,65	564	722	740	199	ARI	34,0
															32	20,1
															40	25,5
1 : 6,0	27,4	27,2	3	3	32,1	0,643	2,64 : 3,36	7	309	6,17	582	745	741	198	ARI	30,8
															32	18,1
															40	22,9
1 : 6,5	30,1	21,9	3	4	34,2	0,685	2,90 : 3,60	8	288	5,76	597	764	741	197	ARI	27,7
															32	16,3
															40	20,6
															ARI	24,9

Observações:

- a) Os traços totais são relações em peso; b) Todos os traços apresentam um teor de argamassa de 52% e 48% de brita 1. c) Concretos sem aditivo plastificante;
d) Módulos de Finura (MF) dos agregados: 2,60 para a areia 7,02 para a pedra 1. e) Para atender f_{ck} subtraia, no mínimo, 7,0 MPa da resistência média acima;
f) A tabela é aplicável também quando se usa aditivo plastificante. Por exemplo: o traço Nº 6 poderá substituir o traço Nº 5 sempre que se estiver usando um aditivo que reduza 10% no teor de Água do concreto; assim, os consumos serão do traço Nº 6, com a resistência do traço Nº 5.

EXERCÍCIOS SOBRE DOSAGENS DE CONCRETO

Questão n º5 – Provão 97

Você recebeu materiais na obra, para uma concretagem de pilares, vigas e lajes a serem posteriormente revestidos, com as características indicadas na tabela a seguir.

Material	cimento	Areia	brita 1
Massa unitária (kg/m ³)	1 200	1500	1 240

A areia e a brita estão estocadas na obra e a umidade de cada uma foi determinada, obtendo-se 5% para a areia e um valor desprezível para a brita. foi determinado, também, o coeficiente de inchamento da areia para esta umidade, encontrando-se o valor de 1,32, necessário ao cálculo do traço em volume. O teor de argamassa do concreto seco (α) é de 0,5 (ou seja, 50%) e é calculado por:

$$\alpha = \frac{1 + a}{1 + m}$$

sendo: $m = -2,21 + 12,2.a/c$; a = relação areia/cimento ;
 a/c = rel. água/cimento e m = rel. agregado total/cimento (kg/kg)

Dados/Informações Técnicas:

Retomando suas notas da época da graduação, você lembrou que:

$$f_{c28} = \frac{177}{23^{a/c}} \quad e \quad f_{c28} = f_{ck} + 1,65 \times S_d$$

sendo:

f_{c28} = resistência a compressão do concreto a 28 dias em MPa;

f_{ck} = 20 MPa

S_d = Desvio padrão, estimado em 5,5 MPa.

Assim,

- a) operando com, no mínimo, cinco dígitos decimais após a vírgula e apresentando os resultados com dois dígitos, calcule o traço em massa a ser adotado para o concreto (c:a:p:a/c), significando as letras, respectivamente, cimento, areia, brita e relação água/cimento;
 - b) deseja-se saber se o traço praticado pelo mestre estava correto. Assinale **SIM** ou **NÃO** e redija sua justificativa com clareza, baseado nos cálculos desenvolvidos, sabendo que para cada saco de cimento (50 kg) eram utilizados os seguintes volumes:
 - 64 litros de areia com 5% de umidade; • 117 litros de brita 1; • 29 litros de água
- 1) Determinar o traço em peso e dimensionar as padiolas para a mistura de 1 saco de cimento nas seguintes condições:
 $C = 350 \text{ kg/m}^3$; para a trabalhabilidade, $A\%$ (teor de água) = 10% (brita 1, areia média)
 e $\alpha \%$ (teor de argamassa) = 52% da mistura seca.
Dados: $\gamma_c = 3,00$; $\gamma_a = \gamma_p = 2,65$; $\delta_h = 1,19$; $\delta_p = 1,40$ (kg/dm³)
 - 2) Realizar uma dosagem empírica, calculando os consumos (em massa e volume) por m³, conforme os seguintes critérios:
 $\alpha\% = 51\%$; $x = 0,54$; $A = 9,5\%$.
 Para proporcionar as britas, considerar que a mistura seca deverá ter $MF = 4,6$, porém a areia, a brita 1 e a brita 2 têm os seguintes MF (módulo de finura): 2,9; 7,00 e 7,8, respectivamente. Lembrete: o MF do cimento é zero.

Obs.: usar os dados do exercício 1.

3) Conferir os valores de $A\%$ e $\alpha\%$ de todos os traços constantes da tabela de Caldas Branco.

4) No proporcionamento entre os agregados têm-se os seguintes critérios:

$\alpha\% = 53\%$ e deseja-se MF da mistura = 4,42

Qual será o traço unitário para $m = 6$ e $A\% = 9,0\%$, se os módulos de finura da areia, b_1 e b_2 são, respectivamente iguais a : 2,5; 7,1 e 7,8. (Obs.: usar 2 casas decimais)

5) Ao ensaiar um cascalho no peneirador de grãos, encontraram-se as seguintes quantidades retidas (g):

Peneiras	Material Retido	Analisada, em separado, uma amostra de apenas 800g do retido no fundo, obtiveram-se 160g retidas em cada uma das outras peneiras da série normal. Assim sendo, qual é o Módulo de Finura de todo o cascalho ?.
38	0	
25	600	
19	1400	
9,5	1800	
4,8	2200	
FUNDO	4000	

6) Qual seria o traço definitivo para um concreto numa situação em que os pares de valores experimentais foram:

$T_1 = 62.000 \text{ kgf}$; $X_1 = 0,42$

$T_2 = 54.000 \text{ “}$; $X_2 = 0,53$ $A\% = 9\% = C^{te}$

$T_3 = 45.000 \text{ “}$; $X_3 = 0,70$

Sabe-se também que deve ser atendido um f_{ck} de 25MPa para um desvio-padrão de 3,5MPa (mesma idade). Para a durabilidade exige-se $X \leq 0,50$.

7) A areia que tem massa unitária seca $\delta_a = 1,43 \text{ kg/dm}^3$ e que, com 4% de umidade, possui massa unitária úmida $\delta_h = 1,19 \text{ kg/dm}^3$, que coeficiente de inchamento apresenta?

8) O proporcionamento entre os agregados numa dosagem experimental é feito com o objetivo de se encontrar o teor ideal de argamassa, aquele que dê a melhor concretagem em obra e a melhor resistência. Pergunta-se:

a) Qual é a importância desse teor ideal de argamassa para a estrutura de concreto ?

b) Como foi obtido no “roteiro para dosagem” - filme da Encol exibido em aula ?

c) Qual foi o procedimento adotado no caso do nosso Trabalho Prático ?

9) Numa experiência em que se procura o teor ideal de argamassa por tentativas tinha-se inicialmente na betoneira a seguinte mistura:

cim. : areia : b_1 : b_2 : água
5,00 : 8,50 : 10,53 : 5,97 : 2,850

Mantendo-se o $m = C^{te}$ e o $A\%$ também C^{te} , quanto se deve adicionar de cimento e areia para que a composição da mistura passe a ter :

(cimento + areia) % = $\alpha\% = 53\%$
% brita 1 = 30 %
% brita 2 = 17%

Ao final, quanta água deverá ser acrescentada para manter as características acima?

10) Para a dosagem experimental, a Norma recomenda seja acrescentada à resistência característica de projeto uma parcela igual a 1,65 Sd. O que significa isso em termos práticos? e em termos estatísticos ?

- 11) Complemente os dados numéricos necessários à determinação em laboratório de A% para um concreto no traço **1: 2,2 : 3,0 : x** ; quando se usa 5,00 kg de cimento e 5,450 kg de água inicial. Considerar que o valor de A% encontrado deverá ser 9%.
- 12) Um concreto cujo **resumo** enviado para o encarregado de obras apresentava:

(RESUMO)

1 Sc de cimento CP II-E-32
 2 padiolas de (42 x 32 x 30)cm areia úmida
 2 padiolas de (31 x 31x 30)cm brita 1:
 1 padiola de (34 x 34 x 28)cm brita 2
 22,4 l de água a adicionar: (h% = 4%)

Para os mesmos dados do exercício 1, Pergunta-se:

- Qual é o traço unitário correspondente ?
 - Qual é o teor de água A% ?
 - Qual é o teor de argamassa ?
 - Qual é o consumo de materiais por m³ ?
- 13) Uma central processa diariamente uma média de 100 toneladas de areia na produção de concreto. A mesma possui dois fornecedores de areia, mas uma delas é muito fina e o Departamento de Tecnologia concluiu que o melhor seria operar uma mistura, já que só a areia grossa não era suficiente para a demanda e o seu teor de finos, abaixo de 0,15mm, considerado pequeno. A granulometria das areias é dada abaixo:

Peneiras (mm)	% acumulado	
	areia A	areia B
4,8	5	0
2,4	20	0
1,2	50	10
0,6	75	30
0,3	90	55
0,15	98	90
	MF = 3,38	MF = 1,85

Considerando-se como ideal uma **areia C** com $2,50 \leq MF \leq 2,51$, pergunta-se:

- Quais serão as proporções de mistura entre A e B a serem adotadas ?
 - Qual será o DMC da nova areia ?
 - Qual é o teor de finos abaixo de 0,15 mm ?
- 14) Utilizando os dados abaixo, simulação de uma dosagem experimental, obter o traço unitário em massa e o custo do m³ para atender às condições dadas. (Pode-se usar Abrams ou O'Reilly).
- A resistência característica deve ser de **25 MPa** com **desvio-padrão** de **4,0 Mpa**; a **28 dias** de idade;
 - A consistência do concreto será $\cong$ à do **Slump 70 mm**; (M1 = 4,2031 e M2 = 0,3281)
 - considerar a correlação: $A\% = 17,236 - 1,866MF_m$.
 - No processo do INT adotar curva com MF = 4,16; a areia e a brita1 tem MF's de 3,00 e 7,00, respectivamente
 - No O'Reilly, considerar 42% de areia e 58% de brita, porém o traço definitivo deverá ter $\alpha \% \geq 50\%$
 - Ensaiados traços com relações A/C de **0,35 ; 0,45 e 0,55**. Obtiveram-se 80.000; 60.000 e 46.000 Kgf em corpos de prova 15 x 30 cm.
 - $R_{cj} = 40MPa$ a 28dias (CP III-40)

- Preços para orçamento:

Cimento : R\$ 13,50/saco ; Areia: R\$28,00/m³ ; Brita: R\$29,00/m³

Questão 8 – Provão 2001

Para a execução de uma obra situada numa localidade do interior, foi especificado o traço em massa de 1,00:2,00:3,30:0,56 (cimento, areia, brita e água), agregados secos, para ser produzido na própria obra em betoneira estacionária. Para efeito de orçamento, calcule o preço dos materiais para a produção de 1 m³ de concreto, admitindo ser desprezível o volume de vazios com ar do concreto fresco adensado e que, portanto, o volume do concreto é o somatório dos volumes dos sólidos dos materiais constituintes mais o volume da água. Considere os dados abaixo, que apresentam os preços dos materiais especificados postos na obra, as características dos agregados obtidas de um estudo realizado por uma universidade com atuação na região e as características do cimento fornecidas pelo fabricante. Despreze o custo da água.

Apresente sua resposta da seguinte forma:

- a) custo do cimento; (valor: 3,0 pontos) b) custo da areia; (valor: 3,5 pontos)
c) custo da brita; (valor: 2,5 pontos) d) custo total de 1m³ de concreto. (valor: 1,0 ponto)

Dados/Informações Adicionais**CIMENTO**

Preço posto obra = R\$ 12,00 por saco de 50 kg

· ρ_{sc} – massa específica dos sólidos = 3.140 kg/m³

AREIA

Preço posto obra = R\$ 20,00 por m³, fornecida com um teor de umidade $w = 4\%$, que corresponde a um coeficiente de inchamento $CI = 1,26$

· ρ_{sa} – massa específica dos sólidos = 2.640 kg/m³

· ρ_{da} – massa específica aparente da areia seca = 1.520 kg/m³

BRITA

Preço posto obra = R\$ 25,00 por m³, fornecida seca com um índice de vazios $e = 0,98$

· ρ_{sb} – massa específica dos sólidos = 2.780 kg/m³

FÓRMULAS

$CI = V/V_a$, onde:

CI – coeficiente de inchamento de um agregado miúdo (areia);

V – volume do agregado úmido;

V_a – volume do agregado seco.

$e = V_v/V_s$, onde: e – índice de vazios;

V_v – volume de vazios;

V_s – volume de sólidos.

**CONCRETO:
DOSAGEM EXPERIMENTAL
(Modelo de Relatório)**

CONCRETO: Resistência Característica (f_{ck}) = aos ____ dias

INTERESSADO: (Trabalho Prático CIV 237 06/1)

Autor deste Relatório: _____

ABRIL / 2006

.....

RESUMO

O presente relatório contém um estudo de dosagem experimental para o concreto estrutural da obra *hipotética CIV01*, onde foi utilizada a equação de Abrams (**ou a equação de O'Reilly**) para a correlação resistência $\times$ relação A/C e um teor fixo de argamassa nos traços igual a 52% da mistura seca. O traço definitivo apresenta Módulo de Finura da mistura igual a ____, com ____% de brita e ____% de areia no agregado total; tais proporções levam a um índice de vazios de ____%, muito próximo ao mínimo experimental que foi de ____%. Contém também o dimensionamento de padrolas e o orçamento de materiais para o custo do m³.

A execução estará a cargo da Empresa XX e o concreto será produzido "in loco" por betoneiras estacionárias.

INTRODUÇÃO

Os materiais fornecidos pelas equipes de Construção e Fiscalização da Obra para a execução deste estudo são: Cimento Portland _____ da marca _____; areia lavada procedente de Ponte Nova e a brita 1 de calcário _____ fornecida pela pedreira YY. Os dados granulométricos dos agregados são apresentados abaixo.

Pelas informações prestadas à equipe de execução, o f_{ck} é de ____MPa a 28 dias de idade e as condições de controle na execução do concreto são aquelas compatíveis com a condição B da Norma NBR12.655/92 da ABNT, porém, dados históricos da Construtora, que tem utilizado o mesmo material, permitem adotar um desvio-padrão de dosagem igual a 3,0MPa. A consistência do concreto, medida pelo abatimento do tronco de cone, deverá estar compreendida entre os valores de Slump de 70mm $\pm$.

DESENVOLVIMENTO

1) RESISTÊNCIA DE DOSAGEM:

A Resistência de Dosagem, calculada [**conforme tabela por aluno (a)**] e segundo a Norma, será:

$$f_{cj} = \_\_\_ + 1,65 \times \_\_\_ = \_\_\_\_\_\_ \text{ MPa}$$

2) GRANULOMETRIA DA MISTURA SECA "(SOLUÇÃO)":

Com base apenas nas curvas de granulometria dos agregados, e visando o menor consumo de água para atingir o Slump 70 $\pm$ 10mm na obra, as recomendações técnicas sugeririam uma mistura seca com ____% de argamassa ____% de brita 1 gerando curvas granulométricas de Módulo de Finura igual a ____ para o traço definitivo 1:____.

3) MOLDAGEM E TEOR DE ÁGUA:

Para estudo da água necessária à consistência requerida e sua relação com a resistência, foram moldados 3 traços diferentes, conforme abaixo:

(mostrar os procedimentos para definição de cada traço moldado)

Traço T₁: 1 : _____. Apresentou teor de água de ____% com Slump de ____mm, ou seja, o traço moldado foi:

1: ____ : ____ : ____

Traço T₂: 1: _____. Apresentou teor de água de ____% com slump de ____mm, ou seja, o traço moldado foi:

1: ____ : ____ : ____

Traço T₃: 1: _____. Apresentou teor de água de ____% com Slump de ____mm, ou seja, o traço moldado foi:

1: ____ : ____ : ____

4) RESISTÊNCIA X RELAÇÃO A/C:

Os resultados obtidos pelos rompimentos dos corpos de prova a 7 dias estão apresentados no quadro abaixo:

Traço	Rel. A/C	Ruptura (kgf)	f_{c7} (MPa)	Slump	M ₁	M ₂	A _G	R _c
T ₁ ⇒ 1:								
T ₂ ⇒ 1:								
T ₃ ⇒ 1:								

(mostrar os processos que correlacionam a resistência com a relação água/cimento para a idade de 7 dias e os valores de K₁ e K₂ equação de Abrams, além dos coeficientes na fórmula de O'Reilly, específicos para os materiais estudados)

$$f_{c7} = \frac{K_1}{K_2^x} = \quad ; \quad e \quad A_G = \quad e \quad R_c =$$

Cálculo da relação A/C necessária para a resistência f_{cj} :

$$f_{cj} \text{ (meu concreto)} = \quad \therefore x_{nec} = \quad$$

(mostrar os procedimentos para a montagem do traço definitivo)

Valores do traço adotado:

$m_{def} = \quad$; teor de argamassa = 52%, brita 1= 48% ; para MFm = ____ e para A% = ____%, tem-se x = ____ (favorável à durabilidade).

Assim, o traço unitário definitivo (em peso) fica sendo:

1 : ____ : ____ : ____
a p x

Por saco de cimento : 1sc : ____ : ____ : ____ (kg)

5) TRACO DEFINITIVO: (RESUMO)

1 Sc de cimento CP _____ (marca _____)

Padiolas convencionais:

areia úmida: ___ padiolas de ___ x ___ x ___ cm

brita 1: ___ padiolas de ___ x ___ x ___ cm

água a adicionar conforme tabela abaixo, de umidade superficial da areia no momento da concretagem:

água a adicionar conforme tabela de umidade da areia (h%):

h%	água a adicionar	h%	água a adicionar
2	_____ dm ³	5	_____ dm ³
3	_____ dm ³	6	_____ dm ³
4	_____ dm ³	7	_____ dm ³

6) ORÇAMENTO DO m³

Para 1m³ de concreto tem-se:

$$C = \frac{1000}{\frac{1}{\gamma_c} + \frac{a}{\gamma_a} + \frac{p}{\gamma_p} + x}$$

onde, γ_c , γ_a e γ_p são massas específicas de cimento, areia e britas.

C =

C.a =

C.p =

C.x =

PROPPRIEDADES DO CONCRETO	
SUBDIVISÃO PARA ESTUDO	IMPORTÂNCIA NA:
A - PROPPRIEDADES DO CONCRETO FRESCO	“CONCRETAGEM” OU EXECUÇÃO
B – PROPPRIEDADES DO CONCRETO ENDURECIDO	VIDA ÚTIL OU DURABILIDADE

Preços:

Cimento: R\$ _____ / saco ; custo no m³ ⇒ R\$ _____

Areia: R\$ _____ / m³ ; custo no m³ ⇒ R\$ _____

brita: R\$ _____ / m³ ; custo no m³ ⇒ R\$ _____

Custo Total por m³ : R\$ _____

PROPPRIEDADES DO CONCRETO

PROPPRIEDADES DO CONCRETO FRESCO :

A trabalhabilidade é uma propriedade composta de pelo menos dois componentes principais:

- Trabalhabilidade
 - ┌ Fluidez (facilidade de mobilidade)
 - └ Coesão (resistência à segregação)
- Exsudação

1 – TRABALHABILIDADE

Tal como a durabilidade, a trabalhabilidade não é uma propriedade intrínseca do concreto, pois deve ser relacionada ao tipo de construção e métodos de lançamento, adensamento e acabamento. Um concreto que pode ser prontamente lançado em uma fundação maciça sem segregar poderia ser totalmente inadequado para uma peça estrutural fina. Um concreto, que é considerado trabalhável quando estão disponíveis vibradores de alta frequência, pode não ser trabalhável se for usado adensamento manual.

A importância da trabalhabilidade em tecnologia do concreto é óbvia. Ela é uma das propriedades básicas que devem ser atendidas. Independente da sofisticação usada nos procedimentos de dosagem e outras considerações, tais como custo, uma mistura de concreto que não possa ser lançada facilmente ou adensada em sua totalidade provavelmente não fornecerá as características de resistência e durabilidade esperadas.

Definição:

A **trabalhabilidade** é caracterizada pela facilidade com que um dado conjunto de materiais pode ser misturado para formar o concreto e depois ser transportado e colocado com um **mínimo de perda de homogeneidade**.

São propriedades do concreto fresco (ligadas à Trabalhabilidade):

- 1 - Consistência / 2 - Textura / 3 - Integridade de massa (oposto de segregação) /
- 4 - Poder de retenção da água (oposto de exsudação) / 5 - Massa específica.

Fatores que afetam a Trabalhabilidade	
A - Fatores Internos: (ligados aos componentes do concreto)	B – Fatores Externos: (ligados às operações de produção)
1 - Consistência (relação água/mistura seca → A %) 2 - Proporção cimento/agregado total → teor de finos 3 - Proporção entre os agregados → (a/p) 4 - Forma adequada dos grãos dos agregados 5 - Aditivos plastificantes (redutores de água)	1 - Tipos de mistura, transporte, lançamento e adensamento 2 - Dimensões e armadura da peça a executar.



Medida da Trabalhabilidade

Os aparelhos e métodos idealizados para verificar a influência dos diversos fatores não conseguem por em evidência todas as propriedades cujo conjunto constitui a trabalhabilidade.

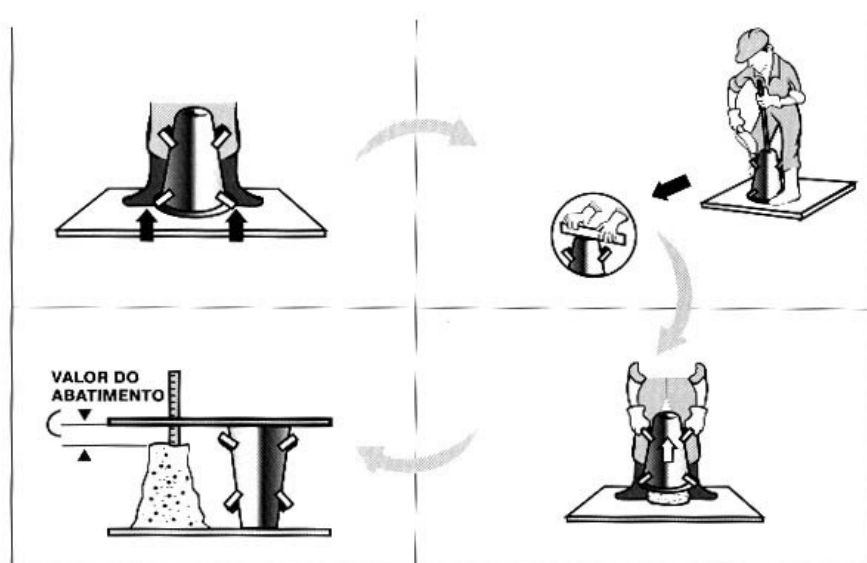
Os fatores internos são normalmente considerados, havendo dificuldade quanto aos externos.

Todos os processos baseiam-se em uma das seguintes proposições, mede-se:

- a **deformação causada** ao concreto fresco por uma **força pré-determinada**.
ou
 o **esforço a ocasionar** numa massa de concreto uma **deformação pré-estabelecida**.

Alguns processos mais simples e divulgados:

- a) **Slump Test** – mede a consistência pelo abatimento do tronco de cone (MB 256)



- b) **Ensaio de escorregamento sem limitações** - Flow test e Mesa de Graff
- c) **Ensaio de escorregamento com limitações** - Remoldagem de Powers, Remoldagem modificado e ensaio VEBE

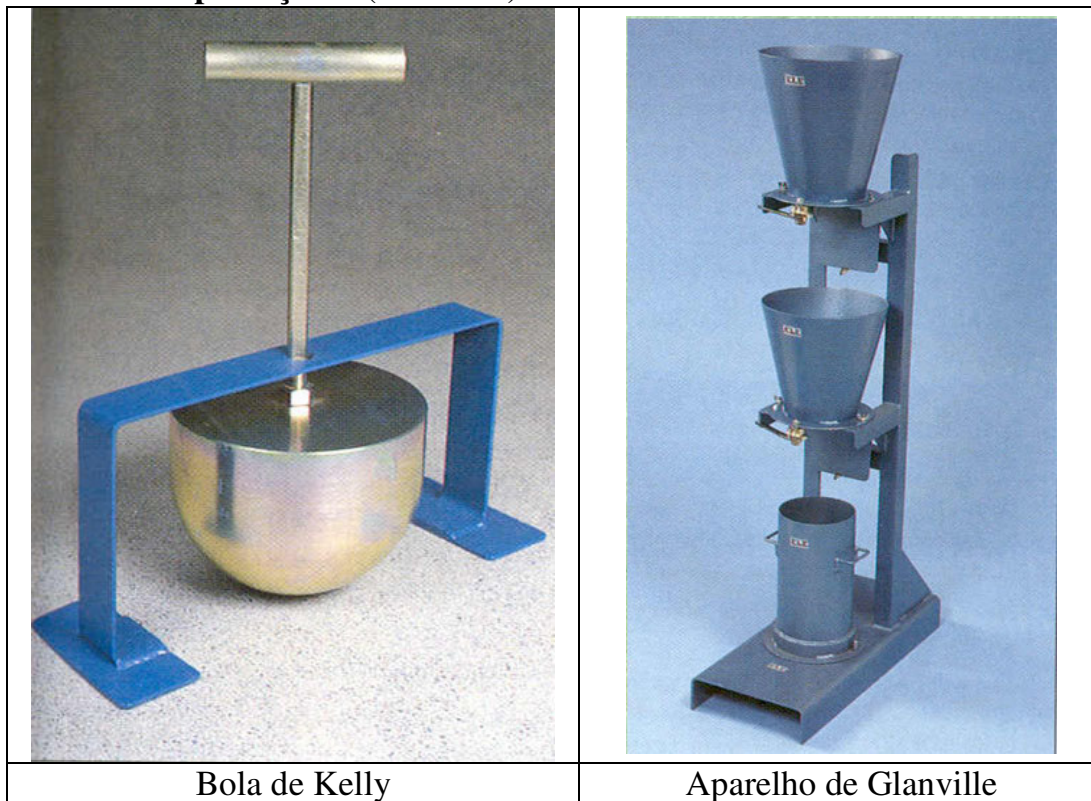


Mesa de Graff

Remoldagem: Ensaio VEBE

d) Ensaio de Penetração - Graff, Irribarren, Kelly e Humm

e) Ensaio de Compactação - (Glanville)



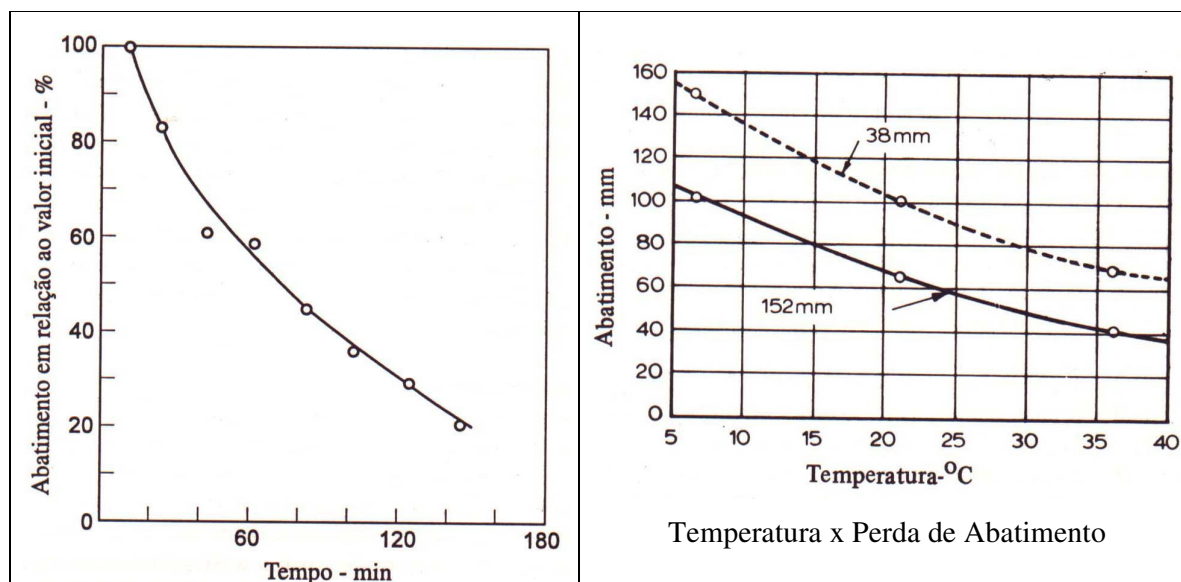
Perda de Abatimento

A perda de abatimento pode ser definida como perda de fluidez do concreto fresco com o passar do tempo. A diminuição do abatimento é um fenômeno normal em todos os concretos porque resulta do enrijecimento gradual e pega da pasta de cimento portland hidratado. A perda de abatimento ocorre quando a água livre de uma mistura de concreto é consumida pelas reações de hidratação, por adsorção na superfície dos produtos de hidratação e por evaporação.

A definição do termo perda de abatimento deve ser aplicada a uma **taxa incomum de enrijecimento** do concreto fresco (medida ou não), que cause efeitos indesejáveis.

Para superar os problemas causados pela perda de abatimento, algumas práticas de campo foram desenvolvidas, como produzir o concreto pré-misturado com um abatimento inicial maior que o necessário para a concretagem, de modo a compensar a perda de abatimento esperada, ou acrescentar uma quantidade extra de água (dentro da faixa permitida pela relação A/C prevista) ou de aditivo pouco antes do lançamento e remisturar o concreto completamente. Esta última operação é chamada **reamassamento**.

Além de outros problemas a perda de abatimento pode significar perda de resistência, durabilidade e outras propriedades quando a redosagem de água for excessiva ou não misturada homogeneamente.



Perda de abatimento em função do tempo

Tabela de Índices de Trabalhabilidade

Consistência	Slump (cm)	Flow %	Vebe (s)	Fator de Compac.	Kelly (cm)	Remoldagem (seg. ou nº)	Tipos de Obras (Sugestões)
Extremamente seca (terra úmida)	0	-	30-20		-	>50 **	Pré-fabricação. Condições especiais de adensamento
Muito seca	0	-	20 - 10	0,70	-	50-20**.	Grandes massas. Pavimentação Vibração muito enérgica.
Seca	0-2	0-20	10 - 5	0,75	0 - 1,5	20-10**	Estruturas Conc. Armado ou protendido. Vibração enérgica
Rija	2-5	20-50	5 - 3	0,85	1,5 - 3	40-60	Estruturas Correntes Vibração Normal
Plástica (média)	5-12	50-90	3 - 0	0,90	3 - 7	20-40	Estrutur. Correntes. Adensamento Manual
Úmida (3)	12-20	90-110	-	0,95	7-10	10-20	Estruturas s/ grande responsabilidade. Adensam. Manual
Fluida (3)	20-25	110-150	-	0,98	-	<10	Conc. Submerso. Inadequado sem Plastificante

* * Remoldagem (tempo em segundos).

(3) Consistências inadequadas caso não se usem aditivos plastificantes.

Obs.: Não há realmente um fator de conversão para as determinações feitas pelos diferentes aparelhos, pois cada um põe em evidência uma ou outra das propriedades cujo conjunto constituem a trabalhabilidade.

Segregação do concreto fresco:

É qualquer forma de separação dos componentes da mistura.

Razão principal: dimensões e massas específicas diferentes dos constituintes da mistura.

Segregação interna: as *partículas maiores e mais pesadas tendem a assentar na parte inferior*;

Segregação externa: as *partículas maiores tendem a se separar da mistura durante o lançamento*.

Consequências da segregação:

- a) heterogeneidade do concreto endurecido;
- b) alterações nas relações agregado/cimento e água/cimento dentro do material.

Fatores que afetam a segregação

1. Tipo de agregado

- Dimensão máxima característica (DMC) $\Rightarrow$ quanto maior ($> 25\text{mm}$) - maior segregação
- teor de finos $\Rightarrow$ quanto maior - menor segregação
- massa específica $\Rightarrow$ o aumento da massa específica do agregado graúdo em relação ao miúdo aumenta a tendência à segregação
- angulosidade $\Rightarrow$ agregados mais angulosos, alongados e ásperos favorecem a segregação mais que agregados arredondados

2. Relação cimento/agregados

Concretos pobres segregam mais que os concretos ricos (menor coesão)

3. Quantidade de água

Concretos muito secos ou muito úmidos facilitam a segregação.

4. Adições ou aditivos:

- A adição de pozolanas, particularmente em misturas pobres reduz a segregação.
- A incorporação de ar tem efeito análogo: as bolhas de ar funcionam como material fino.
- Aditivos superplastificantes: produzem-se concretos fluidos e não segregáveis pela elevada redução da água de amassamento, especialmente nas misturas ricas.



2 – EXSUDAÇÃO (Forma particular de segregação)

A exsudação pode ser definida como a tendência da água de amassamento vir à superfície do concreto recém lançado ou de se alojar embaixo das partículas do agregado graúdo. A água é o componente mais leve da mistura e os sólidos em suspensão tendem a se sedimentar sob a ação da força da gravidade. A exsudação resulta da inability dos materiais componentes em reterem toda a água da mistura em estado disperso, enquanto os sólidos mais pesados estiverem assentando.

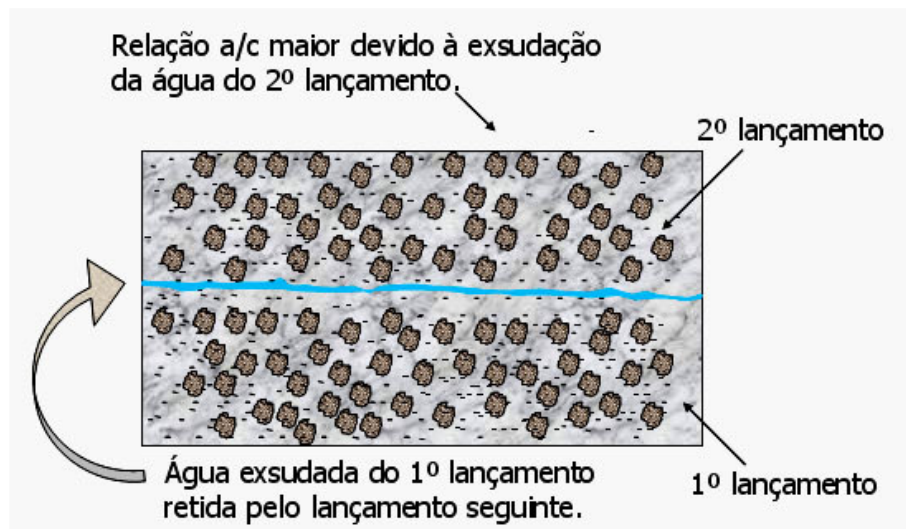
Provoca: alta porosidade / baixa resistência / nata na superfície / redução da aderência com as armaduras.

Atenuam os efeitos da exsudação: Misturas ricas / Granulometria contínua / Cimentos finos / Agregados de grãos arredondados.

Água exsudada subindo e parando sob agregados graúdos e armadura:



Água exsudada retida entre lançamentos sucessivos e acumulada na superfície do concreto:



Fatores que afetam a exsudação

- A velocidade e a profundidade da lâmina d'água exsudada são reduzidas:

- pelo aumento da finura do cimento;
- pelo aumento do teor de C_3A do cimento;
- pela diminuição da relação a/c ;

- Incorporadores de ar e pozolanas reduzem a velocidade e o teor de água exsudada, principalmente em misturas pobres;

- Aditivos retardadores ampliam a duração e intensidade da exsudação. O contrário ocorre com aditivos aceleradores;

- Aditivos plastificantes e superfluidificantes diminuem a relação a/c e conseqüentemente a exsudação.

Medida da Exsudação:

Uma forma de medir a exsudação é dada pela norma ASTM C 232, uma amostra de concreto é colocada e adensada num recipiente de 250mm de diâmetro e 280mm de altura. A água de exsudação acumulada na superfície é retirada em intervalos de 10 minutos durante os primeiros 40 minutos e, daí em diante, em intervalos de 30 minutos. A exsudação é expressa em termos da quantidade de água acumulada na superfície, em relação à quantidade de água existente na amostra.

PROPRIEDADES DO CONCRETO ENDURECIDO

- 1) Massa Específica
- 2) Resistência Mecânica
- 3) Permeabilidade e Absorção
- 4) Deformações

1 - MASSA ESPECÍFICA

É a massa da unidade de volume do material incluindo os vazios:

Valores usuais - normais	Concreto simples → 2400 kg/m ³ (NBR6118 /2003)
	Concreto armado → 2500 kg/m ³ (NBR6118 /2003)
	c/ agregados leves 300 a 1800 kg/m ³
	c/ agregados pesados 2300 a 5000 kg/m ³

Obs.: Os concretos especiais (leves ou pesados) têm funções diferentes daquelas reservadas aos concretos normais. Os leves para isolamentos térmicos e aplicações que exigem redução de peso-próprio e os pesados para isolamentos, como os radioativos, por exemplo.

“Em condições normais, a resistência mecânica de um concreto diminui quando se reduz a sua massa específica”. Apesar disso, com as novas tecnologias, conseguem-se concretos estruturais de baixa densidade, mas de grande resistência mecânica.

2 - RESISTÊNCIA MECÂNICA:

A norma CB-130 (NBR 8953) classifica o concreto para fins estruturais por grupos de resistência:

Concretos do grupo I de resistência		Concretos do grupo II de resistência	
Designação	F_{ck} (MPa)	Designação	F_{ck} (MPa)
C10	10	C55	55
C15	15		
C20	20		
C25	25	C60	60
C30	30		
C35	35	C70	70
C40	40		
C45	45	C80	80
C50	50		

A NB-1/2003 em seu item 7.1.1 estipula valores mínimos a serem adotados pelos projetistas, conforme abaixo:

“Esta Norma se aplica a concretos de massa específica normal, das classes do grupo I, indicadas na NBR 8953 tais como: C15, C20, C25, C30, C35, C40, C45 e C50.

Valor mínimo da resistência à compressão:

- **20 MPa para concretos apenas com armadura passiva,**
- **25 MPa para concretos com armadura ativa e**
- **15 MPa pode ser usado apenas em fundações e em obras provisórias”.**

Relações estrutura-propriedade:

As relações estrutura-propriedade constituem a essência da moderna ciência dos materiais. O concreto tem uma estrutura muito heterogênea e complexa. Consequentemente, é muito difícil estabelecer modelos exatos, a partir dos quais, o comportamento do material possa ser previsto com segurança. Todavia, um conhecimento da estrutura e das propriedades de cada constituinte do concreto, e a relação entre eles, é útil para se exercer um certo controle sobre as propriedades do material.

ESTRUTURA DO CONCRETO		
MATRIZ DE PASTA DE CIMENTO	AGREGADO	ZONA DE TRANSIÇÃO PASTA / AGREGADO
<u>Natureza Múltipla:</u> - Distribuição heterogênea de fases sólidas, poros e microfissuras - Varia com o grau de hidratação do cimento - Varia com a Umidade Relativa do Ar <u>Vazios Capilares:</u> quantidade e ϕ são proporcionais a A/C e inversamente proporcionais ao grau de hidratação do cimento. poros > 50 nm $\Rightarrow$ influem na resistência e permeabilidade. poros < 50 nm $\Rightarrow$ retração e fluência. <u>Águas:</u> 1) livre (vazios > 50 nm) 2) retida por tensão capilar (vazios de 5 a 50 nm) 3) adsorvida (só retirada a 30% de Umidade Relativa) 4) interlamelar (sai a 11% de U.R.) 5) combinada quimicamente (forma o C-S-H)	<u>Natureza Múltipla:</u> Vários minerais; contém microfissuras e vazios Tamanho e distribuição dos poros são mais importantes que a composição química ou mineralógica Forma e Textura dos grãos > tamanho e partículas chatas, geram > tendência à exsudação interna	interface agregado graúdo / pasta camada delgada (10 a 50 μm) que determina a resistência do conjunto * Idem <u>Natureza Múltipla:</u> Varia com a Umidade Relativa do Ar Varia com o grau de hidratação do cimento Possui Rel. a/c maior que na matriz de pasta de cimento, gerando: 1) microfissuração 2) < densidade ; 3) presença de $[\text{Ca}(\text{OH})_2]$ 4) > porosidade $\Rightarrow$ < resistência Se apresentar relação epitáxica, irá obter maior resistência.

Obs.: Torna-se difícil prever com exatidão o comportamento do concreto

Relação Resistência x Porosidade :

$$S = S_0 e^{-kp} \text{ (para materiais homogêneos simples)}$$

Os aspectos singulares da estrutura do concreto podem ser resumidos como segue:

1) Há uma terceira fase, a zona de transição, que representa a região interfacial entre as partículas de agregado graúdo e a pasta. Sendo uma camada delgada, tipicamente de 10 a 50 μ m de espessura ao redor do agregado graúdo, a zona de transição é geralmente mais fraca do que os outros dois componentes principais do concreto, e, conseqüentemente, exerce uma influência muito maior sobre o comportamento mecânico do concreto do que pode ser esperado pela sua espessura.

2) Cada uma das fases é de natureza múltipla. Por exemplo, cada partícula de agregado pode conter vários minerais, além de microfissuras e vazios. Analogamente, tanto a matriz de pasta como a zona de transição contêm geralmente uma distribuição heterogênea de diferentes tipos e quantidades de fases sólidas, poros e microfissuras.

3) Diferentemente de outros materiais de engenharia, a estrutura do concreto não permanece estável. Isto porque dois constituintes - a pasta e a zona de transição - estão sujeitas a modificações com o tempo, umidade ambiente e temperatura.

Por essas razões os modelos teóricos de relação estrutura-propriedades, de modo geral tão importantes na previsão do comportamento dos materiais de engenharia, são de pouco uso no caso do concreto. Um conhecimento amplo dos aspectos importantes da estrutura dos constituintes individuais do concreto é contudo essencial para o entendimento e controle das propriedades do material composto.

Estrutura da Fase Agregado:

A fase agregado é predominantemente responsável pela massa unitária, módulo de elasticidade e estabilidade dimensional do concreto. Estas propriedades do concreto dependem em larga extensão da densidade e resistência do agregado, que por sua vez, são determinadas mais por características físicas do que por características químicas. Em outras palavras, a composição química ou mineralógica das fases sólidas do agregado são comumente menos importantes do que características físicas tais como número, tamanho e distribuição de poros.

Além da porosidade, a forma e a textura do agregado gráudo também afetam as propriedades do concreto.

Sendo geralmente mais resistente do que as duas outras fases do concreto, o agregado não tem influência direta sobre a resistência do concreto, exceto no caso de alguns agregados altamente porosos e fracos, como o agregado de pedra-pomes, que baixam a resistência do conjunto.

Quanto maior em tamanho e mais elevada a proporção de partículas chatas e alongadas do agregado, maior será a tendência do filme de água se acumular próximo à superfície do mesmo, haverá maior propensão à fissuração, enfraquecendo assim a zona de transição pasta-agregado. Este fenômeno é conhecido como exsudação interna.

Estrutura da pasta endurecida:

Ao comentar a hidratação do cimento boa parte do assunto já foi discutido, mas é importante estudar os vazios e a água contida na pasta em suas várias formas.

a) Vazios na pasta de cimento:

Espaço interlamelar no C-S-H. Powers assumiu que a largura do espaço interlamelar na estrutura do C-S-H é de $18\text{\AA}$ (1,8 nm) e determinou que ele é responsável por 28% da porosidade capilar no C-S-H sólido. Este tamanho de vazio é muito pequeno para ter um efeito desfavorável sobre a resistência e a permeabilidade da pasta. No entanto, a água nestes pequenos vazios pode ser retida por pontes de hidrogênio, e a sua remoção sob determinadas condições pode contribuir para a retração por secagem e para a fluência.

Vazios capilares. Os vazios capilares representam o espaço não preenchido pelos componentes sólidos da pasta. O volume total de uma mistura cimento-água permanece essencialmente inalterado durante o processo de hidratação. A densidade média dos produtos de hidratação é consideravelmente menor do que a densidade do cimento portland anidro; estima-se que 1cm^3 de cimento, após hidratação completa, requer ao redor de 2cm^3 de espaço para acomodar os produtos de hidratação.

O espaço não ocupado pelo cimento ou pelos produtos de hidratação consiste de vazios capilares, sendo a quantidade e o tamanho dos capilares diretamente proporcionais à relação água/cimento e inversamente proporcionais ao grau de hidratação.

Obs.: Não é a porosidade total, mas a distribuição do tamanho dos poros que controla efetivamente a resistência, a permeabilidade e as variações de volume em uma pasta de cimento endurecida. A distribuição do tamanho dos poros é afetada pela relação A/C e pela idade (grau de hidratação) do cimento. Os poros grandes ($>50\text{nm}$) influenciam principalmente a resistência à compressão e a permeabilidade. Os poros pequenos ($<50\text{nm}$) influenciam mais a retração por secagem e a fluência.

Ar incorporado. Enquanto os vazios capilares tem forma irregular, os vazios de ar incorporado são geralmente esféricos. O ar pode ser aprisionado na pasta fresca de cimento durante a operação de mistura. O ar incorporado provém da utilização de aditivos. Ambos os vazios de ar na pasta são muito maiores do que os vazios capilares, sendo capazes de afetar negativamente a resistência e a impermeabilidade.

b) A água na pasta endurecida:

A água pode estar presente na pasta de várias formas:

Água capilar. Esta é a água presente nos vazios maiores que 50Å (5nm). É composta de água livre, cuja remoção não causa qualquer variação de volume (vazios > 50nm) e a água retida por tensão capilar em capilares pequenos (5 a 50 nm) cuja remoção pode causar a retração no sistema.

Água adsorvida. É a água que está próxima à superfície do sólido e sob a influência de forças de atração, as moléculas de água estão fisicamente adsorvidas. Pode ser retirada por secagem da pasta a 30% de umidade relativa. A perda dessa água provoca retração da pasta por secagem.

Água interlamelar. É a água associada à estrutura do C-S-H. É retirada somente por secagem forte (abaixo de 11% de umidade relativa). Sua saída provoca considerável retração na estrutura do C-S-H.

Água quimicamente combinada é a água que faz parte da estrutura de vários produtos hidratados do cimento. Não pode ser retirada sem a decomposição do material.

Estrutura da Zona de Transição:

Primeiro, em concreto recentemente compactado, um filme de água forma-se ao redor das partículas grandes de agregado. Isto pode levar a uma relação água / cimento mais elevada nas proximidades do agregado graúdo do que longe dele (i.e., na matriz de argamassa). Em seguida, analogamente à matriz, os íons de cálcio, sulfato, hidroxila e aluminato formados pela dissolução dos compostos de sulfato de cálcio e de aluminato de cálcio, combinam-se para formar etringita e hidróxido de cálcio. Devido à relação água/cimento elevada, estes produtos cristalinos vizinhos ao agregado graúdo consistem de cristais relativamente grandes, e conseqüentemente, formam uma estrutura mais porosa do que na matriz de pasta de cimento ou na matriz de argamassa. Os cristais em placa de Ca(OH)_2 tendem a formar-se em camadas orientadas. Finalmente, com o progresso da hidratação, o C-S-H pouco cristalizado e uma segunda geração de cristais menores de etringita e de hidróxido de cálcio começam a preencher os espaços vazios entre o reticulado criado pelos cristais grandes de etringita e de hidróxido de cálcio. Isto ajuda a aumentar a densidade e conseqüentemente, a resistência da zona de transição.

Resistência da zona de transição: Como no caso da pasta, a causa de adesão entre os produtos de hidratação e a partícula de agregado são as forças de atração de Van der Waals; portanto, a resistência da zona de transição em qualquer ponto depende do volume e do tamanho dos vazios presentes. Mesmo para concreto de baixa relação água / cimento, nas primeiras idades, o volume e o tamanho de vazios na zona de transição serão maiores do que na matriz de argamassa; conseqüentemente, a zona de transição é mais fraca em resistência. Contudo, com o aumento da idade, a resistência da zona de transição pode tornar-se igual ou mesmo maior do que a resistência da matriz de argamassa. Isto poderia acontecer como resultado da cristalização de novos produtos nos vazios da zona de transição através de reações químicas lentas (relação epitáxica) entre constituintes da pasta de cimento e o agregado, formando silicatos de cálcio hidratados no caso de agregados silicosos, ou carboaluminatos hidratados em caso de calcário. Tais interações contribuem para a resistência porque tendem também a reduzir a concentração de hidróxido de cálcio na zona de transição.

Influência da zona de transição nas propriedades do concreto: A zona de transição, geralmente o **elo mais fraco da corrente**, é considerada a fase de resistência limite no concreto. É devido à presença da zona de transição que o concreto rompe a um nível de tensão consideravelmente mais baixo do que a resistência dos dois constituintes principais.

A zona de transição contém microfissuras resultantes de carregamento em curto prazo, retração por secagem, e fluência.

Não sendo necessários níveis elevados de energia para estender as fissuras já existentes na zona de transição, até com tensões de 40 a 70% da resistência última, já são obtidos maiores incrementos de deformação por unidade de força aplicada. Isto explica o fato de que os constituintes do concreto (i.e., agregado e pasta ou argamassa) comumente permanecem elásticos até à fratura num ensaio de compressão uniaxial, enquanto o concreto mostra comportamento elasto-plástico.

Em níveis de tensão maiores do que 70% da resistência última, as concentrações de tensão nos poros grandes da matriz de argamassa tornam-se suficientemente grandes até iniciar novas fissuras. Com tensões crescentes, essas novas fissuras da matriz propagam-se gradativamente até se unirem às fissuras originadas na zona de transição. **O sistema de fissuras torna-se então contínuo e o material rompe.**

As características da zona de transição também influenciam a **durabilidade** do concreto. Os elementos em concreto armado e protendido rompem frequentemente devido à corrosão da armadura. A velocidade de corrosão do aço é enormemente influenciada pela permeabilidade do concreto. A existência de microfissuras na zona de transição na interface com a armadura e o agregado graúdo é a razão principal do concreto ser mais permeável do que a pasta ou a argamassa correspondente. Deve-se notar que a difusão do ar e da água é um pré-requisito necessário à corrosão do aço no concreto.

Concreto: - boa resistência à compressão;
 - baixa resistência à tração: $f_c \cong 10 f_t$

7.1.4 Resistência à compressão (NB-1/2004)

Obtida em ensaios de cilindros moldados segundo a NBR 5738, realizados de acordo com a NBR 5739. Para a resistência à compressão média, f_{cmj} e resistência f_{ckj} especificada, seguir a NBR 12655.

Nos ensaios de flexão, obtêm-se valores da resistência à tração da ordem do dobro das resistências obtidas por tração simples.

Para se determinar a resistência à tração com melhor precisão, só se utiliza hoje o método de Lobo Carneiro que aplica compressão diametral no corpo de prova cilíndrico de 15 x 30 cm. Assim, tem-se:

$$f_t = \frac{2P}{\pi DL}, \text{ onde } P \text{ é a carga de ruptura, } D = 15\text{cm e } L = 30\text{cm}.$$

Em seu item 7.1.5 a NB-1/2004 diz sobre a resistência à tração do concreto:

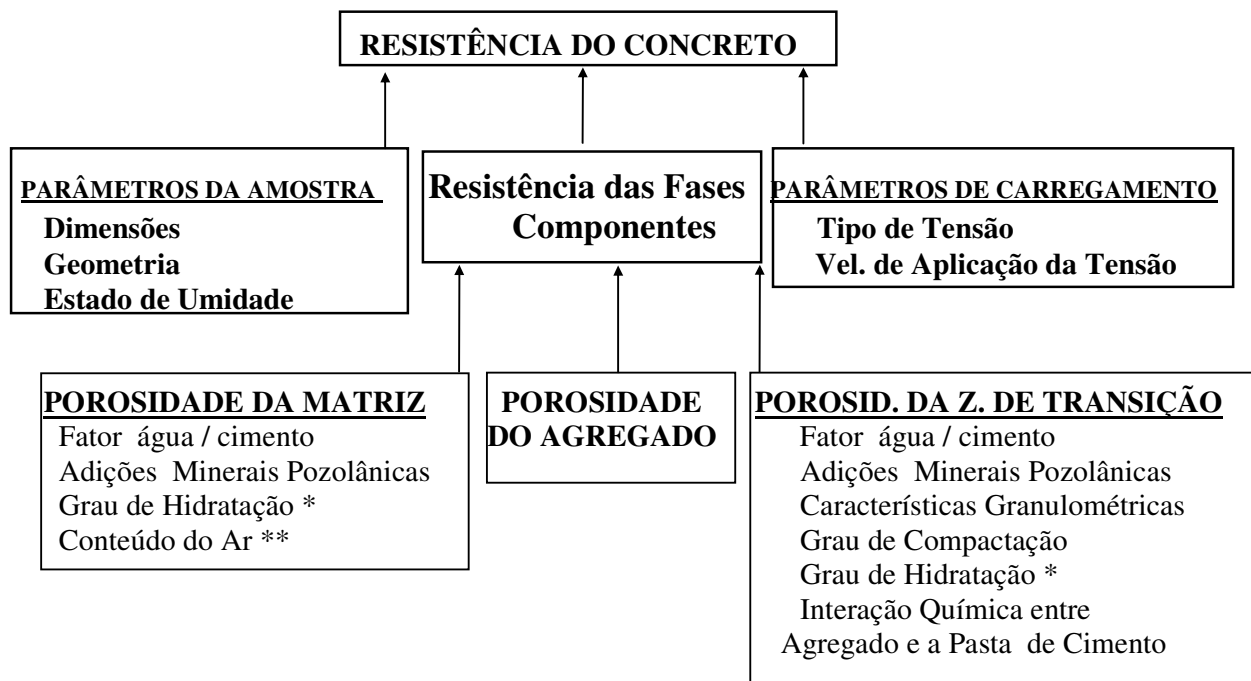
A resistência à tração direta f_{ct} pode ser considerada igual a $0,9 f_{ct,sp}$ ou $0,7 f_{ct,f}$ ou, na falta de ensaios para obtenção de $f_{ct,sp}$ e $f_{ct,f}$, pode ser avaliada por meio das expressões (1) a (3).

$$f_{ctm} = 0,3 f_{ck}^{2/3} \quad (1)$$

$$f_{ctK,inf} = 0,7 f_{ctm} \quad (2)$$

$$f_{ctK,sup} = 1,3 f_{ctm} \quad (3)$$

Principais Fatores que afetam a Resistência Mecânica:



* Grau de Hidratação: Tempo de Cura / Temperatura / Umidade

** Conteúdo do Ar: Ar Aprisionado / ar Incorporado

COMENTÁRIOS GERAIS:

Parâmetros da Amostra:

Forma e Dimensões dos Corpos de Prova:

Corpo de prova cilíndrico: altura $\neq$ em relação ao diâmetro da base $\Rightarrow$ resultados diferentes.

A ABNT adota o cilindro $h = 2d$ e considera os de 15 x 30cm como padrão para concreto.

$$d \geq 3 \times \text{DMC do agregado}$$

$$f_{c \text{ cilíndrica}} \cong 0,8 f_{c \text{ cúbica}}$$

A tabela seguinte, adotada pelo comitê euro-internacional do concreto (CEB), dá indicações sobre os fatores de conversão:

Tipo de Corpo de Prova	Dimensões (cm)	Coeficiente de Correção ao corpo de prova cilíndrico padrão (15 x 30) cm	
		Multiplicar por	Limites de variação
cilindro	15 x 30	1,00	-
cilindro	10 x 20	0,97	0,94 a 1,00
cilindro	45 x 90	1,16	1,12 a 1,20
cubo	10	0,80	0,70 a 0,90
cubo	15	0,80	0,70 a 0,90
cubo	20	0,83	0,75 a 0,90
cubo	30	0,90	0,80 a 1,00
prisma	15 x 15 x 45	1,05	0,90 a 1,20
prisma	20 x 20 x 60	1,05	0,90 a 1,20



Os resultados são também afetados pelo estado da superfície de contato com os pratos da máquina de ensaio, com o teor de umidade dos corpos de prova e pela influência do atrito na superfície do concreto.

Parâmetros de Carregamento:

Velocidade de aplicação da Carga de Ensaio

A carga deve ser aplicada de forma contínua e uniformemente crescente para dar resultados aceitáveis como representativos da resistência, além de reproduzíveis.

Duração da Carga

Os resultados variam com o tempo de realização do ensaio.

Assim, é necessário padronizar os incrementos de carga por unidade de tempo para que os resultados sejam reproduzíveis.

Obs.: É bom lembrar que os ensaios da norma são rápidos e que, conforme as teorias de ruptura, o mesmo material só suporta, na prática, aprox.70% da tensão que ele resiste no ensaio rápido.

RELAÇÃO RESISTÊNCIA x POROSIDADE:

Em geral, existe uma relação fundamental inversa entre porosidade e resistência de sólidos que, para materiais homogêneos simples, pode ser descrita com a expressão:

$$S = S_0.e^{-k p}$$

onde **S** é a resistência do material que possui uma dada porosidade **p**, **S₀** é a resistência intrínseca para porosidade zero e **k** é uma constante. Para muitos materiais, a razão **S/S₀** versus porosidade representada em um gráfico segue a mesma curva. A relação inversa entre porosidade e resistência não é limitada aos produtos cimentícios, mas geralmente aplicável a uma grande variedade de materiais como ferro, aço, gesso, alumina sinterizada, etc.

Powers encontrou para três tipos diferentes de argamassas:

$$f_{c28} = ay^3$$

onde,

a é resistência intrínseca do material com porosidade zero (= 234 MPa).

y a razão sólidos/vazios ou a fração de sólidos no sistema, que é portanto igual a (1-p).

Embora na pasta ou argamassa de cimento endurecido a porosidade possa ser relacionada à resistência, no caso do concreto a situação não é simples. A presença de microfissuras na zona de transição entre o agregado graúdo e a matriz de pasta de cimento faz do **concreto um material muito complexo para o prognóstico da resistência através das relações exatas resistência-porosidade**. A validade geral da relação, contudo, deve ser respeitada, porque as porosidades das fases componentes do concreto, incluindo a zona de transição, tornam-se de fato limitantes da resistência. Para um concreto contendo agregados compactos e de alta resistência, a resistência do material será governada tanto pela resistência da matriz da pasta de cimento como pela resistência da zona de transição.

Relação água / cimento x Tamanho Médio de Poros

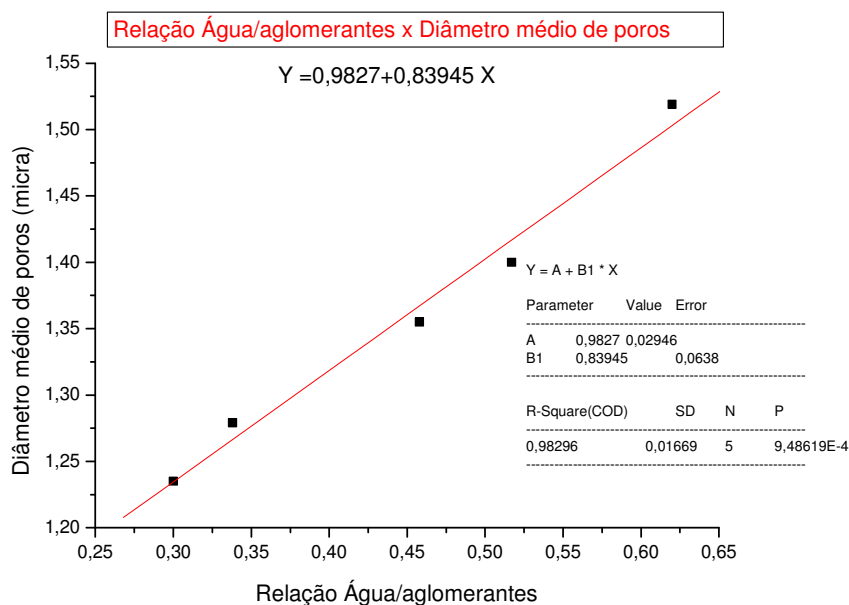


Fig. 5.20 - Relação água/aglomerantes x Diâmetro médio dos poros.

Em pesquisa realizada pelo autor com microscopia eletrônica de varredura (MEV) e análise de imagens, constatou-se que o diâmetro médio dos poros cresce com o aumento da relação A/C. Aplicando-se regressão linear aos dados da Tabela abaixo, obtém-se uma reta, como a da figura acima, onde há uma dependência direta e muito forte ($R^2 > 0,98$) entre a relação água/aglomerantes e a dimensão média dos poros.

Tabela – Distribuição de tamanhos de poros por MEV
(Aumentos de 1000x e imagens com 5% de vazios)

Lâmina	μfoto	Fator de Forma (médio)	% Poros com FF > 0,60	Nº de Poros processados	Diâmetro Médio (μm)	Médias e Rel. A/C
1011N	12N03	0,83	4,27	253	1,258	1,235 x = 0,300
1011F	12F03	0,81	3,39	239	1,184	
1301N	14N03	0,82	4,13	270	1,225	
1301F	24F03	0,80	4,37	265	1,259	
2021N	35N03	0,84	4,19	312	1,128	
2021F	35F03	0,82	3,96	297	1,152	
3202F	46F03	0,82	3,72	224	1,283	
T ₁	T ₁₂	0,81	4,11	127	1,703	1,796 x = 0,620
	T ₁₄	0,80	3,97	130	1,708	
	T ₁₆	0,84	4,07	87	2,014	
T ₂	T ₂₂	0,82	3,76	146	1,564	1,677 x = 0,517
	T ₂₄	0,82	3,98	105	1,839	
	T ₂₈	0,81	3,93	124	1,702	
T ₃	T ₃₂	0,82	4,18	154	1,640	1,632 x = 0,458
	T ₃₄	0,83	4,06	166	1,581	
	T ₃₈	0,82	4,41	157	1,667	
T ₄	T ₄₂	0,80	4,14	157	1,583	1,556 x = 0,338
	T ₄₄	0,82	4,22	149	1,576	
	T ₄₈	0,82	3,69	162	1,495	

Comentários sobre os dados da Tabela acima:

- Da mesma forma foram feitas análises de variância, tendo sido encontrados resultados de semelhança dos diâmetros médios dentro de cada traço T_i e de diferença estatística em relação às médias para cada valor de A/C (última coluna da tabela), assim eles resultam comparáveis entre si, dentro da resolução aqui aplicada, onde 1pixel vale 0,129μm;
- A fissuração aumenta com a passagem pelo fogo, mas o diâmetro dos poros não;
- Há uma dependência direta e muito forte ($R^2 > 0,98$) entre a relação água/aglomerantes e a dimensão média dos poros, conforme a Figura 5.20 acima.

Relação água / cimento:

É ponto pacífico na tecnologia do concreto ser a relação A/C o principal fator que governa as propriedades do concreto. Na prática, considera-se que a resistência à compressão do concreto é uma função da relação A/C, do grau de hidratação do cimento e do grau de adensamento (condicionante operacional).

Para os concretos plenamente adensados (1% de vazios de ar), pode-se dizer que é válida a lei de Abrams:

“A resistência varia na razão inversa da relação água / cimento, dentro dos limites práticos de aplicação, isto é, relações A/C > 0,30”.

Abrams expressou sua lei pela fórmula logarítmica: $f_c = \frac{K_1}{K_2^x}$

Onde, K_1 é um valor da ordem de 100 a 1000 e K_2 varia com a idade e qualidade do aglomerante; quanto maior a idade e melhor a qualidade do cimento, tanto menor o valor de K_2 .

f_c e x são, respectivamente, a resistência à compressão e a relação água/cimento.

Observações:

a) A influência do cimento em quantidade já está implicitamente considerada dentro do fator A/C.

b) Os valores de K_1 e K_2 são constantes para cada conjunto de materiais em concretos de mesma idade (mesmo grau de hidratação) e podem ser determinados experimentalmente, o que será visto em trabalho prático.

c) Outras expressões também correlacionam a resistência com o inverso da relação A/C, conforme

Bolomey, O'Reilly, etc.

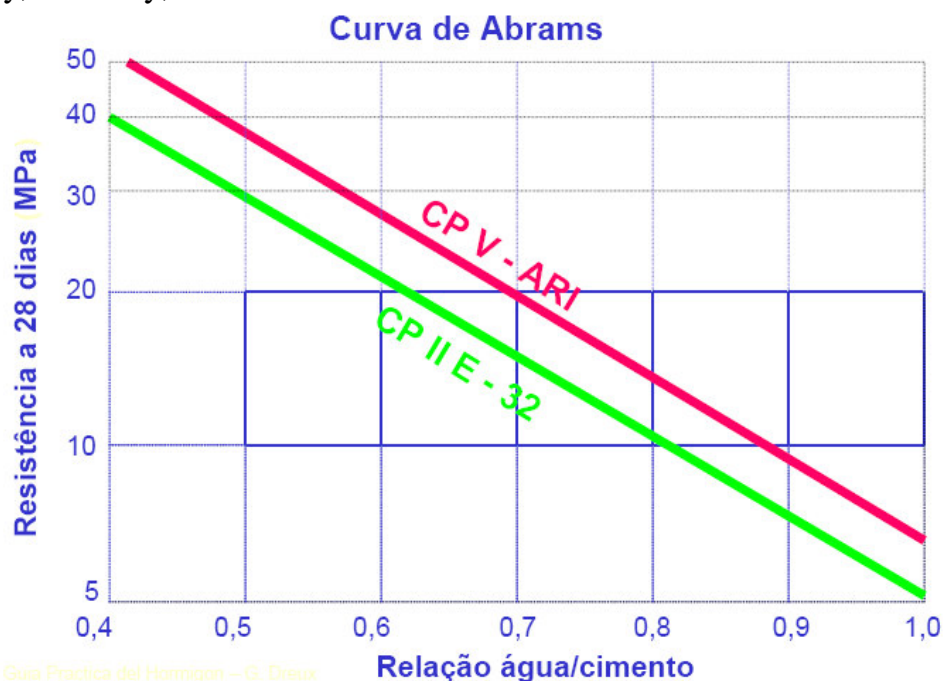


Fig. – Relações A/C x Resistência para concretos com CP II E-32 e CP V - ARI

Relação A/C em função da Durabilidade do concreto :

O Comitê **ACI 613** do Instituto Americano do Concreto propõe os seguintes valores máximos da relação A/C para vários tipos de estrutura e graus de exposição:

Ver página seguinte

TIPO OU LOCAL DA ESTRUTURA (grau de exposição)	Relação água / cimento em peso	
	Clima severo grande ΔT	Clima moderado chuvoso ou árido
a) Partes da estrutura sujeitas a severas condições de exposição tais como: muros, vertedouros de barragens, canais, etc	0,45	0,55
b) Partes de túneis, sifões sujeitos a gelo e degelo e parte externa de concreto massa	0,50	0,55
c) Estruturas submersas ou de certa forma protegidas de intemperismos	0,58	0,58
d) concreto sujeito ao ataque de sulfatos, álcalis do solo a água do mar	0,40	0,50 *
e) Concreto bombeado sob água	0,45	0,45
f) Revestimento de canais	0,53	0,58
Obs: Pela tabela IV, também do ACI, seções finas com menos de 2,5 cm de recobrimento	0,49	0,53

* Caso o cimento seja resistente aos sulfatos

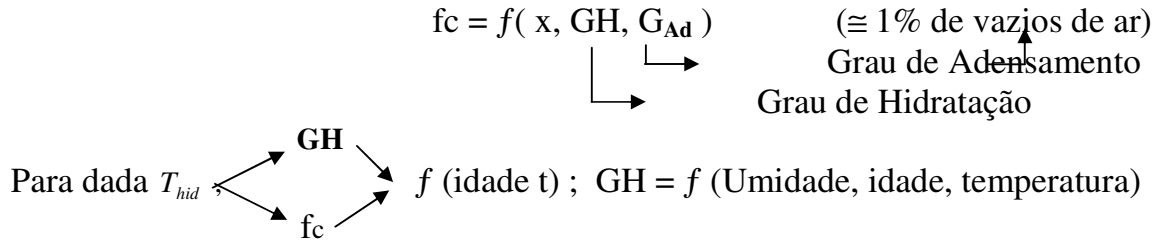
Relações $A/C < 0,30$. Num concreto de baixa e média resistência preparado com agregado comum, ambas as porosidades, da zona de transição e da matriz determinam a resistência, e é válida a lei de Abrams, entre o fator água/cimento e a resistência do concreto. Isto parece não mais ser o caso em concretos de alta resistência e alto desempenho, cujo fator A/C é muito baixo. Para Relações A/C abaixo de 0,30, aumentos desproporcionalmente elevados na resistência à compressão podem ser conseguidos para pequenas reduções no fator A/C . O fenômeno é atribuído principalmente à melhora significativa da resistência da zona de transição obtida para fatores A/C muito baixos. Uma das explicações é que o tamanho dos cristais de hidróxido de cálcio diminui com a redução do fator água / cimento.

GRAU DE HIDRATAÇÃO – IMPORTÂNCIA DA CURA

EXPRESSÕES DO TIPO:

$$f_{cj} = A_G \cdot R_{cj} \left(M_1 \log \frac{1}{x} + M_2 \right) \quad \text{ou} \quad f_c = K_1 / K_2^x$$

carregam, implicitamente, uma **dependência das condições de concretagem e de cura**, assim:



P/ dado $x \Rightarrow$ porosidade da pasta = $f(GH)$ (inversa)

Em C.N.T., $GH = f(\text{Condições de Saturação})$

↪ Vel. de Hid $\rightarrow 0$ p/ pressão de vapor $< 80\%$ da p de saturação

$GH = f(\text{idade, umidade, temperatura})$

↪

COMO ACELERADORA

Idade:

(tempo-resistência) supõe cura úmida + T_{normal}

P/ dado a/c, maior tempo de cura úmida significa $> f_c$ (até completar GH)

$f_c \times \text{tempo (idade)} \Rightarrow f_{cm}(t) = f_{c28} [t/(4 + 0,85t)]$; Comitê 209 do ACI (pág. 94)

Umidade: $\Rightarrow f_{c180} \text{ c/c/ úmida} = 3 f_{c180} \text{ c/c/ ao ar}$

Norma : cura úmida ≥ 7 dias p/ cimento ARI e $\gg 7$ dias p/ outros CP's

Temperatura: (T)

história tempo-temperatura $[T_{Lanç} + T_{Cura}] \Rightarrow f_c = f(T)$

↪ $T_{média}$ durante toda a cura

↪ (0 $\rightarrow$ 2h)

f_c p/ $4^\circ\text{C} < T_{Lanç} < 13^\circ\text{C}$, $\gg f_{c180}$ que para $T_{Lanç}$ [(24, 29, 38 ou 46°C)] todos

↪ melhor distribuição de tamanho dos poros ($<<$)

curados a $T_{Cura} = 21^\circ\text{C}$

2 - (Grau de hidratação) Idade:

Em C.N.T., $GH = f(\text{Condições de Saturação})$

↪ Vel. de Hid $\rightarrow 0$ p/ pressão de vapor $< 80\%$ da p de Saturação

Idade: Deve ser lembrado que as relações tempo-resistência em tecnologia do concreto geralmente supõem condições de cura úmida e temperatura normal.

Para um dado fator A/C, quanto maior o período de cura úmida maior a resistência, admitindo-se que a hidratação das partículas de cimento anidro continua ocorrendo.

A avaliação da resistência à compressão com o tempo é de grande interesse para os engenheiros construtores.

O comitê 209 do ACI recomenda a seguinte relação para CP comum:

$$f_{cm}(t) = f_{c28} [t/(4 + 0,85t)]$$

Normalmente o concreto é ensaiado com 3, 7 e 28 dias sendo que, com os resultados dos ensaios nas idades menores (3 e 7 dias), já se pode obter informações sobre o concreto futuro.

Segundo Petrucci:

$$\begin{array}{l|l|l} f_{c7} = 1,35 \text{ a } 1,65 f_{c3} & f_{c28} = 1,25 \text{ a } 1,50 f_{c7} & f_{c365} = 1,10 \text{ a } 1,35 f_{c28} \\ f_{c28} = 1,70 \text{ a } 2,50 f_{c3} & f_{c90} = 1,05 \text{ a } 1,20 f_{c28} & \end{array}$$

Obs.: como regra, o autor coloca que o coeficiente decresce para os concretos de maior resistência e propõe a seguinte tabela:

f_{c28} em MPa	$f_{c28} \div f_{c7}$	$f_{c7} \div f_{c3}$	$f_{c28} \div f_{c3}$
< 18	1,50	1,65	2,50
18 a 25	1,40	1,55	2,25
25 a 35	1,35	1,45	2,00
35 a 45	1,30	1,40	1,80
> 45	1,25	1,35	1,70

Há outras expressões que correlacionam a resistência com a idade para concretos curados de forma normal. A NBR6118/2003 apresenta a seguintes indicações:

“Quando não for indicada a idade, as resistências referem-se à idade de 28 dias”.

“A evolução da resistência à compressão com a idade deve ser obtida através de ensaios especialmente executados para tal. Na ausência desses resultados experimentais podem-se adotar, em caráter orientativo, os valores indicados na Tabela 1”.

Tabela 1 - Relações f_{cj}/f_c , admitindo cura úmida em temperatura de 21° a 30° C

Cimento Portland	Idade Dias									
	3	7	14	28	63	91	120	240	360	720
CP III CP IV	0,46	0,68	0,85	1	1,13	1,18	1,21	1,28	1,31	1,36
CP I CP II	0,59	0,78	0,9	1	1,08	1,12	1,14	1,18	1,20	1,22
CP V	0,66	0,82	0,92	1	1,07	1,09	1,11	1,14	1,16	1,17
NOTA - CP I = cimento comum; CP II = cimento composto; CP III = cimento de alto forno; CP IV = cimento pozolânico; CP V = cimento de alta resistência inicial										

(Grau de hidratação) Umidade:

A influência da umidade de cura sobre a resistência do concreto é evidente:

$$f_{c180 \text{ c/c/ úmida}} = 3 f_{c180 \text{ c/c/ ao ar}}$$

Norma: cura úmida ≥ 7 dias p/ cimento ARI e $\gg 7$ dias p/ outros cimentos

(Grau de hidratação) Temperatura:

f_c p/ $4^\circ\text{C} < T_{\text{Lanç.}} < 13^\circ\text{C}$, $\gg f_{c180}$ que para $T_{\text{Lanç.}} [(24, 29, 38 \text{ ou } 46^\circ\text{C})]$ todos curados a $T_{\text{Cura}} = 21^\circ\text{C}$

→ melhor distribuição de tamanho dos poros ($\ll$)

A partir de estudos microscópicos, muitos pesquisadores concluíram que, para cura a baixas temperaturas, uma microestrutura relativamente mais uniforme da pasta de cimento hidratada (principalmente quanto à distribuição do tamanho dos poros) explicaria a maior resistência.

De um concreto curado no verão ou em clima tropical pode-se esperar que tenha uma resistência inicial maior, porém uma menor resistência final do que o mesmo concreto curado no inverno ou em clima frio.

Adições Minerais :

As adições minerais ativas, isto é, aquelas que possuem atividade pozolânica irão contribuir para a melhoria geral de qualidade do concreto produzido. Obtém-se maior coesão, maior compacidade e resistência pela formação de mais C-S-H, maior durabilidade pela combinação do hidróxido de cálcio com a pozolana, menor permeabilidade, etc.

Características Granulométricas:

A ABNT estabelece que o fator de forma médio dos grãos deve ser < 3 . Já a AFNOR estabelece os limites para o coeficiente volumétrico médio dos agregados grãos:

<u>Tipo de concreto</u>	<u>Seixo rolado</u>	<u>brita</u>
Concreto de alta resistência e de baixa permeabilidade (barragens).....	0,25.....	0,20
outros concretos	0,15.....	0,12

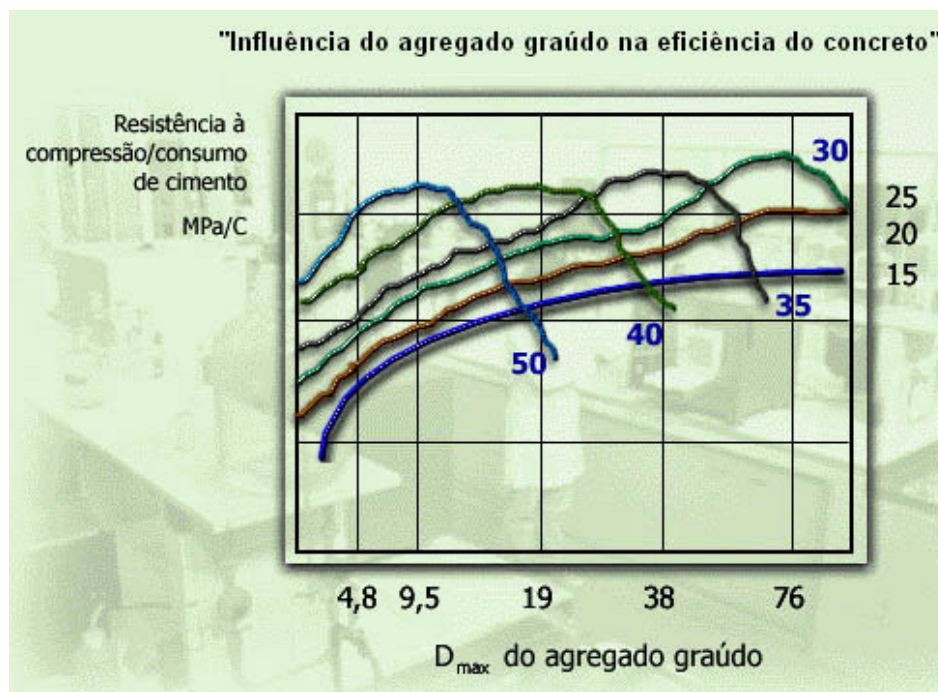
Observações:

- Agregado graúdo > influência pela forma dos grãos,
Agregado miúdo > influência pela granulometria (MF > para menor consumo de água).
- Pedregulho: 80% de água em relação às britas, para = Slump.
- Britas: > aderência (ligação epitáxica), > resistência ao desgaste e à tração.
- Granulometria contínua para > trabalhabilidade e > compacidade e > resistência final.

Tipo de Cimento:

Além da quantidade o cimento influi também pela qualidade. Assim, um concreto preparado com o CP ARI será mais resistente que o mesmo feito com um CP 40 ou um CP 32, para a mesma dosagem e mesmo grau de hidratação.

Influência do Agregado Graúdo:



Fatores Operacionais: (Mistura, Transporte, Lançamento, Adensamento e Cura)

Quanto aos fatores externos, e sem entrar em detalhes neste momento, pode-se dizer que o traço do concreto dosado já possui um potencial de resistência que lhe é característico e que os fatores externos, que são fatores operacionais, se não forem bem executados, só tendem a baixar a resistência que seria possível obter.

RESISTÊNCIA x CONSISTÊNCIA (SLUMP TEST) :

Apresentam-se abaixo alguns valores de resistência de um concreto em que a única variável foi a consistência, no caso representada pelo Slump test. Pela expressão de O'Reilly um concreto com Slump 16cm perde 5% de sua resistência em relação a ele mesmo com o Slump de 6cm.

Fórmula de Bolomey ampliada por O'Reilly:

$$f_c = 0,5R_c \left(M_1 \log \frac{1}{x} + M_2 \right)$$

Onde,

f_c = Resistência do concreto em Mpa

R_c = Resistência do cimento em Mpa

x = relação A/C

M_1 e M_2 são as constantes de O'Reilly que variam com a consistência do concreto, seus valores já foram informados.

$$M_1 = 4,6259 - 0,0604.S$$

S = valor da consistência (Slump) do concreto em

cm.

$$M_2 = e^{(-1,3125 + 0,0283.S)}$$

Alguns Exemplos Numéricos:

Slump(cm)	M_1	M_2	x	R_c (CP III)	f_c	$\Delta n/6$
4	4,3843	0,3014	0,50	47,3	38,3	101
6	4,2635	0,3189	0,50	47,3	37,9	100
8	4,1427	0,3375	0,50	47,3	37,5	99
10	4,0219	0,3572	0,50	47,3	37,1	98
12	3,9011	0,3780	0,50	47,3	36,7	97
14	3,7803	0,4000	0,50	47,3	36,4	96
16	3,6595	0,4233	0,50	47,3	36,1	95
6			0,40	47,3	47,7	
6			0,33	47,3	55,7	
6			0,53	47,3	35,0	
6	4,2635	0,3189	0,38	47,3	50,0	-
6			0,35	58,0	65,0 (CP V)	
6			0,27	58,8	80,0 (CP V)	

Como se vê na Tabela acima, a perda de resistência é de 1% para cada 2cm de aumento no abatimento do tronco de cone (Slump Test).

Como a adequada concretagem é essencial para a qualidade do concreto, conclui-se que a resistência a ser atingida depende muito mais do traço que efetivamente está sendo rodado na betoneira do que o “controle rigoroso” do Slump no momento de produzi-lo. Se o traço tem alta relação agregado/cimento, ele irá, com certeza, exigir um teor alto de água, e sua relação A/C será também alta. Não adianta forçar sobre o valor do slump.

PERMEABILIDADE DO CONCRETO

O concreto é material necessariamente poroso, pois não é possível preencher a totalidade dos vazios entre os agregados com uma pasta de cimento, que por si só, já é porosa.

Outras razões:

a) $Q_{\text{Água de amassamento}} > Q_{\text{reativa com o cimento}}$. A água em excesso, ao evaporar, deixa vazios.

b) Retração autógena. $V_{\text{componentes}} > V_{\text{produtos da reação}}$

c) Ar remanescente aprisionado durante a mistura do concreto.

Obs.: Mesmo os concretos excelentes possuem porosidade da ordem de 10%.

A interconexão dos vazios deixa o concreto permeável à água. A permeabilidade torna-se a principal propriedade para os concretos que, expostos ao ar, sofrem ataques de águas agressivas ou a ação destruidora dos agentes atmosféricos. Concretos mais permeáveis são, portanto, de menor durabilidade. Da mesma forma, assume importância essa propriedade nos concretos de estruturas hidráulicas.

A absorção é o fenômeno físico pelo qual o concreto retém água nos seus poros e condutos capilares (Ver estrutura da pasta endurecida).

A Permeabilidade é definida como a propriedade que governa a taxa de fluxo de um fluido para o interior de um sólido poroso. Na situação de **Fluxo contínuo**, o coeficiente de permeabilidade (K) é determinado pela expressão de Darcy:

$$dq/dt = K \cdot (\Delta H \cdot A / L \mu)$$

onde, dq/dt é a taxa do fluxo de fluido, μ , a viscosidade do fluido, ΔH , o gradiente de pressão, A , a área da seção e L , a espessura do sólido. Como o coeficiente de permeabilidade de um concreto é maior para água líquida do que para gases ou vapor de água é normalmente estudada a permeabilidade à água.

PERMEABILIDADE DO CONCRETO > PERMEABILIDADE DA PASTA OU DO AGREGADO

↓ MICROFISSURAS EXSUDAÇÃO NA ZONA DE TRANSIÇÃO E ⇒ COMBATE	< RELAÇÃO A/C (<0,54) ADEQUADA DOSAGEM DE FINOS “ OPERAÇÃO DE MISTURA “ OPERAÇÃO DE CURA TAMANHO E FORMA DO AGREGADO < DEFORMAÇÕES TÉRMICAS < RETRAÇÃO NA SECAGEM IMPEDIMENTO DE CARGA PREMATURA “ “ “ EXCESSIVA
--	---



**REDUÇÃO NA PERMEABILIDADE DA PASTA DE CIMENTO COM A
EVOLUÇÃO DA HIDRATAÇÃO
(RELAÇÃO ÁGUA/CIMENTO = 0,70).**

idade (dias)	Coefficiente de permeabilidade (cm/s x 10⁻¹¹)
Fresca	20.000.000
5	4.000
6	1.000
8	400
13	50
24	10
Final	6

À medida que a hidratação progride, a maioria dos poros vão sendo reduzidos a um pequeno tamanho ($\leq 100\text{nm}$) e perdendo também as suas interconexões; deste modo a permeabilidade diminui. No concreto bem curado a pasta de cimento não é o principal fator a contribuir para a permeabilidade.

Permeabilidade dos Agregados

Apesar de uma menor porosidade (3 a 10%), observa-se que os coeficientes de permeabilidade de agregados variam da mesma forma que os de pastas endurecidas de cimento com relações A/C na faixa de 0,38 a 0,71.

**COMPARAÇÃO ENTRE AS PERMEABILIDADES DE ROCHAS
E DE PASTAS DE CIMENTO:**

Tipo de rocha	Coefficiente de permeabilidade (cm/s)	Relação A/C de pasta hidratada com o mesmo coeficiente de de permeabilidade
Basalto denso	$2,47 \times 10^{-12}$	0,38
Diorito de quartzo	$8,28 \times 10^{-12}$	0,42
Mármore	$5,77 \times 10^{-10}$	0,66
Granito	$5,35 \times 10^{-9}$	0,70
Arenito	$1,23 \times 10^{-8}$	0,71
Granito	$1,56 \times 10^{-8}$	0,71

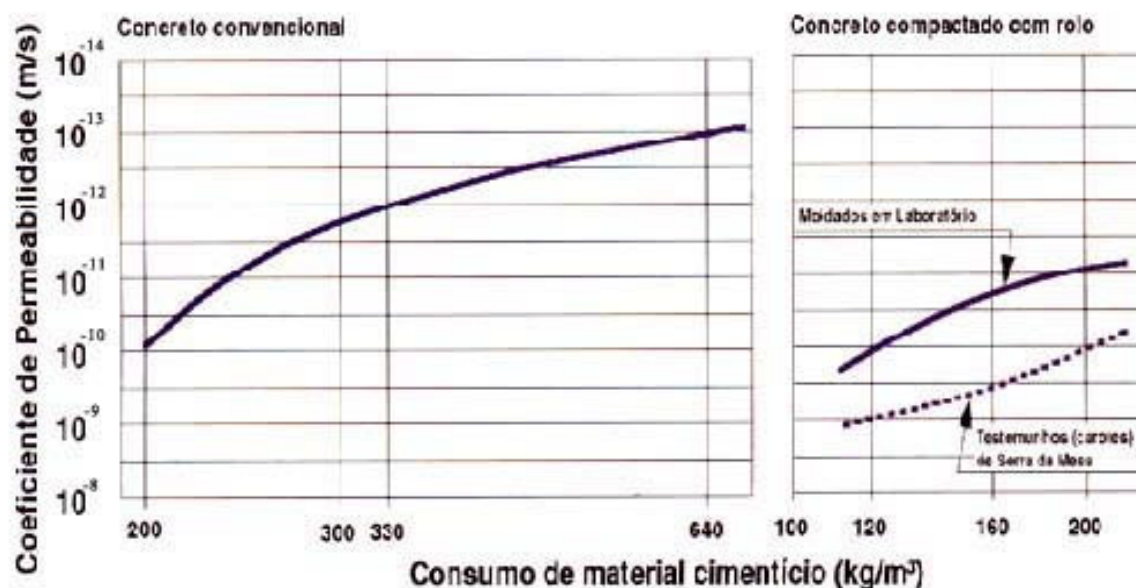
A maioria dos poros capilares em uma pasta de cimento hidratada situa-se na faixa de 10 a 100nm, enquanto os poros nos agregados são, em média, maiores que 10 μm . Em alguns calcários e outras rochas a distribuição dos poros envolve uma quantidade considerável de poros mais finos; a permeabilidade é baixa, mas os agregados estão sujeitos a expansões e fissuração associadas ao lento movimento da umidade e à pressão hidrostática resultante.

Permeabilidade do Concreto

Ex.: O concreto de baixo consumo de cimento ($<150\text{kg/m}^3$) usado em barragens contendo agregados de até 150mm e rel.A/C de 0,75 apresenta coeficiente da ordem de 30 vezes superior ao do concreto estrutural (consumo de 350kg/m^3 , DMC = 25mm e rel.A/C 0,50); 30×10^{-10} e $1 \times 10^{-10}\text{cm/s}$, respectivamente.

A explicação para a maior permeabilidade de argamassas ou concretos em relação à pasta de cimento correspondente reside nas microfissuras que estão presentes na zona de transição entre o agregado e a pasta.

Segundo Sousa Coutinho, sempre que seja necessária estanqueidade numa construção, o coeficiente de permeabilidade do concreto não deve ultrapassar 10^{-5}cm/h ($3,6 \times 10^{-10}\text{m/s}$); quando se exige estanqueidade excepcionalmente elevada, deve-se tomar um limite dez vezes inferior àquele.



Trabalhos de McMilan e Lyse indicam que não se deve usar relações A/C maiores que 0,54 em seções delgadas ($K < 0,5 \times 10^{-5}\text{cm/h}$) nem maiores que 0,62 no concreto massa [$K = (1,0 \text{ a } 1,5) \times 10^{-5}\text{cm/h}$].

Obs.: “É considerado impermeável um concreto no qual a penetração de água não ultrapasse 3cm para pressões hidrostáticas de 0,1MPa durante 48 horas e 0,7 MPa em 24 horas” (dado do I Simpósio Brasileiro de Impermeabilização na Construção Civil).

PERMEABILIDADE DO CONCRETO – DADOS PRÁTICOS

DMC (mm)	Coeficiente de Permeabilidade (m/s)				
	RELAÇÃO ÁGUA/CIMENTO				
	0,4	0,6	0,7	0,8	1,0
Pasta	-	$5,0 \times 10^{-14}$	1×10^{-13}	-	-
4,8*	-	$3,33 \times 10^{-12}$	$1,11 \times 10^{-11}$	$4,17 \times 10^{-11}$	$2,22 \times 10^{-12}$
38	$6,11 \times 10^{-13}$	$1,11 \times 10^{-11}$	$4,72 \times 10^{-11}$	$1,11 \times 10^{-11}$	$5,42 \times 10^{-10}$
76	$1,06 \times 10^{-12}$	$1,94 \times 10^{-11}$	$6,11 \times 10^{-11}$	$1,80 \times 10^{-10}$	$6,94 \times 10^{-10}$
100	$1,39 \times 10^{-12}$	$2,78 \times 10^{-11}$	$1,11 \times 10^{-10}$	-	-

* argamassa 1:3

A permeabilidade cresce com a relação A/C.

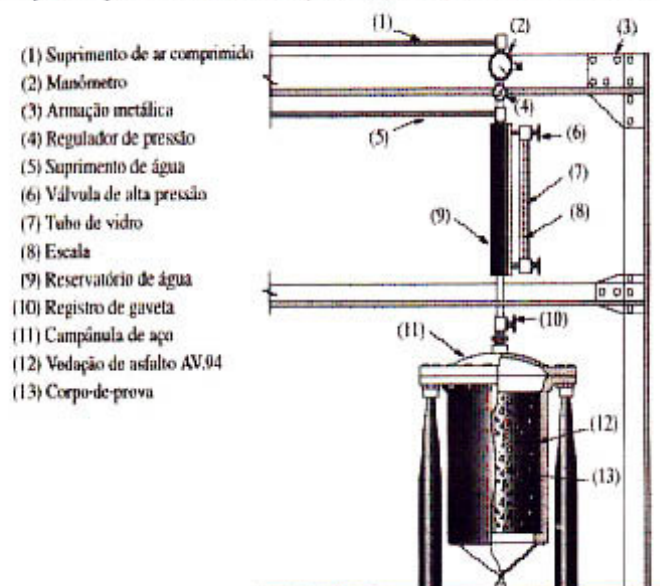
INFLUÊNCIA DO CONSUMO DE CIMENTO – CONCRETO CONVENCIONAL

DOSAGEM	Módulo de Finura do Agregado miúdo	COEFICIENTE DE PERMEABILIDADE (M/S)			
		Consumo de Cimento (kg/m ³)			
		300	600	900	1200
A	1,40	$1,67 \times 10^{-10}$	$1,39 \times 10^{-11}$	$3,33 \times 10^{-12}$	$2,22 \times 10^{-12}$
B	2,80	$6,94 \times 10^{-11}$	$1,03 \times 10^{-12}$	$1,11 \times 10^{-12}$	$1,47 \times 10^{-12}$
C	3,84	$1,25 \times 10^{-11}$	$1,94 \times 10^{-12}$	$1,36 \times 10^{-12}$	$1,53 \times 10^{-12}$

A permeabilidade diminui com o aumento no consumo de cimento.



As partes que compõem o sistema de carga do corpo-de-prova são mostradas na Figura 14.2.



Influência da adição de Fumo de sílica – Concreto Convencional

TEOR DE CIMENTO (kg/m ³)	Teor de Fumo de sílica % em peso	Coef. de Permeabilidade (m/s)
100	-	$1,8 \times 10^{-8}$
100	10	$1,0 \times 10^{-9}$
250	-	$6,0 \times 10^{-13}$
250	10	$1,0 \times 10^{-13}$
400	-	$7,0 \times 10^{-15}$
400	10	$4,0 \times 10^{-14}$

A permeabilidade diminui com a adição de microsílica e pozolanas.

Exemplo de determinação do coeficiente de permeabilidade:

Cálculo do coeficiente de permeabilidade “K”

$$K = \frac{Q \cdot L}{A \cdot H} \quad (14.1)$$

onde:

$$Q = \text{vazão} = 2,423 \times 10^{-4} \text{ cm}^3/\text{s}$$

$$H = \text{pressão manométrica do ensaio} = 21.090 \text{ cm.c.a}$$

$$L = \text{comprimento do cp} = 27,9 \text{ cm}$$

$$A = \text{área do cp} = 706,85 \text{ cm}^2, \text{ logo:}$$

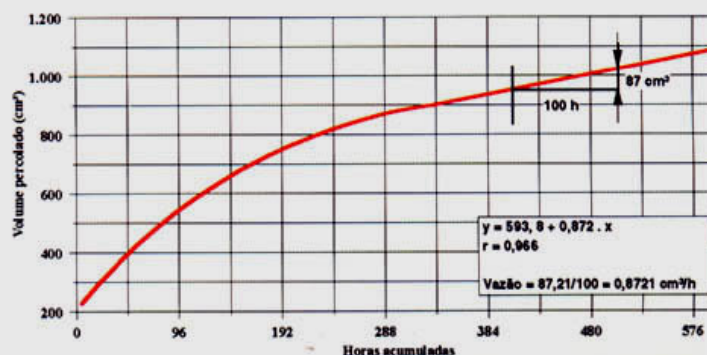
$$K = \frac{2,423 \times 10^{-4} \times 27,9}{706,85 \times 21.090} = \frac{0,00746}{14.907.466,50} = 4,53 \times 10^{-10} \text{ cm/s}$$

$$K_1 = \text{correção devida ao tamanho do corpo-de-prova (vide tabela 14.2)}$$

$$K_1 = K \times \text{fator de correção} = 4,53 \times 10^{-10} \times 1,0204 = 4,627 \times 10^{-10} \text{ cm/s}$$

$$K_2 = \text{correção da idade do corpo-de-prova (vide tabela 14.3)}$$

$$K_2 = \frac{4,627 \times 10^{-10}}{0,72} = 6,42 \times 10^{-10} \text{ cm/s} = 6,42 \times 10^{-12} \text{ m/s ou } 6,42 \times 10^{-13} \text{ kg/(Kg.m.s)}$$



Enquanto a absorção é de mais fácil determinação, a permeabilidade não dá resultados facilmente reprodutíveis; principalmente porque fissuras de várias origens falseiam os resultados dos ensaios. A água, dissolvendo ou não o hidróxido de cálcio, pode aumentar ou reduzir o coeficiente obtido. A pressão tem também a sua influência, pois há certas dimensões de poros que só se abrem para determinadas pressões. O grau de hidratação, como já foi visto, também influi reduzindo a permeabilidade.

DEFORMAÇÕES DO CONCRETO

As variações de volume dos concretos são o resultado da soma de várias parcelas, a seguir citadas:

- variação do volume absoluto dos elementos ativos que se hidratam;
- variação do volume de poros internos, com ar ou água;
- variação do volume de material sólido inerte (incluindo o cimento hidratado).



As deformações causadoras das mudanças de volume podem ser grupadas em:

a) **Causadas pelas variações das condições ambientes**, tais como:

- retração → $\sigma_t \cong 6,5 \text{ MPa}$
- variações da umidade (absorção e perda d'água)
- variações de temperatura.

b) **Causadas pela ação de cargas internas**, que originam:

- deformação imediata
- deformação lenta

A importância do conhecimento das deformações é salientada pela possibilidade de uma fissuração, que será caminho aberto à agressão por agentes exteriores, ou pelo surgimento de esforços adicionais nas peças com variação dimensional, em estruturas hiperestáticas.

RETRAÇÃO

A retração, que é um fenômeno de variação espontânea de volume no concreto, e em outros materiais de estrutura porosa, tem várias componentes, a saber:

1) Retração do concreto fresco :

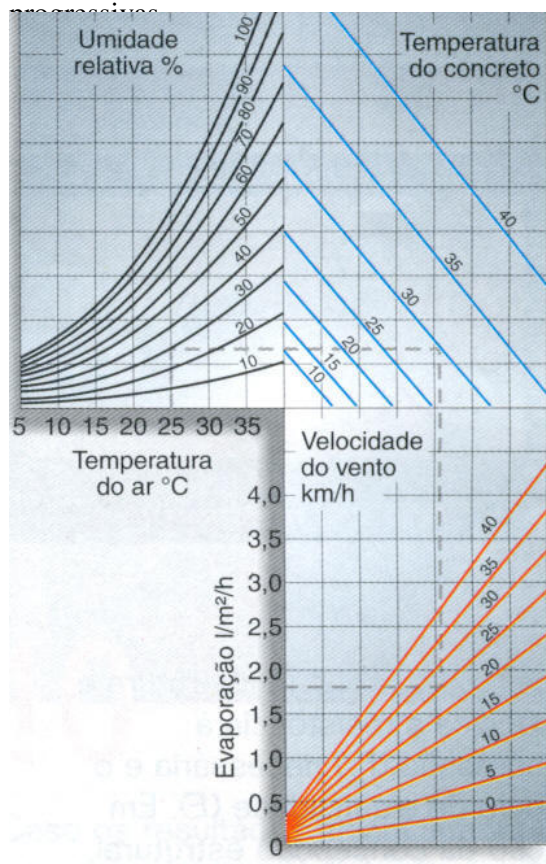
“A pasta de cimento sofre uma redução de volume da ordem de 1% do volume absoluto do cimento seco”. A diminuição do volume é composta, então, de:

- **Sedimentação e**
- **retração plástica**

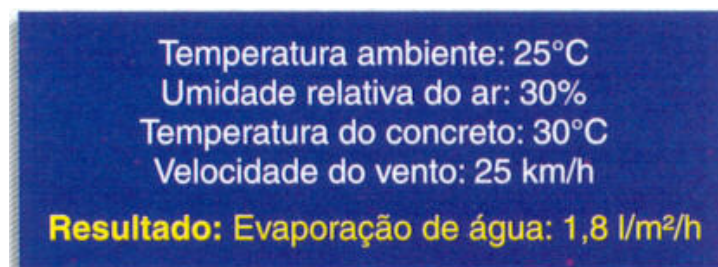
A sedimentação corresponde a um assentamento do concreto devido à ação da gravidade, traduzindo-se por uma retração vertical (os componentes do concreto têm densidades diferentes e, sendo a água o elemento mais leve, gera a exsudação). Provoca uma fissuração superficial que aparece em aprox. 20 minutos após o lançamento.

Entre as causas que afetam a sedimentação, pode-se citar a vibração prolongada e/ou transmissão das vibrações através das armaduras, pega muito demorada, falta de finos na areia e todos os fatores que afetam a exsudação, já apresentados. Muitas vezes, o tratamento da superfície da peça antes do início da pega pode eliminar este tipo de defeito. Também com revibração.

A **retração plástica**, que é devida à rápida fuga da água de amassamento, gera fissuras que não são



O ábaco ao lado, do livro *Concreto de Cimento Portland* permite encontrar para que condições de vento, temperatura ambiente e do concreto, e umidade relativa, a velocidade de evaporação por metro quadrado de superfície é susceptível ou não de provocar este tipo de fissuração.



As fissuras ocorrem quando a velocidade de evaporação na superfície do concreto supera a velocidade de exsudação. A velocidade de exsudação está compreendida entre 0,5 e 1,5 l/m²/h, não havendo risco de fissuração abaixo do mínimo.

$$1,8 \text{ l/m}^2/\text{h} > 1,5 \text{ l/m}^2/\text{h} \Rightarrow \text{FISSURAÇÃO}$$

As formas ou os agregados, ou ainda a evaporação influenciam esse tipo de deformação. Ventos, aliados a uma baixa umidade relativa do ar no local e a temperatura do concreto, superior à do ambiente são as principais causas da rápida evaporação superficial. **As fissuras ocorrem quando a velocidade de evaporação na superfície do concreto supera a velocidade de exsudação. A velocidade de exsudação está compreendida**

entre 0,5 e 1,5 l/m²/h, não havendo risco de fissuração abaixo do mínimo. Se a evaporação estiver entre os dois limites, pode iniciar o aparecimento de fissuras e, **acima do limite superior, a fissuração é inevitável.**

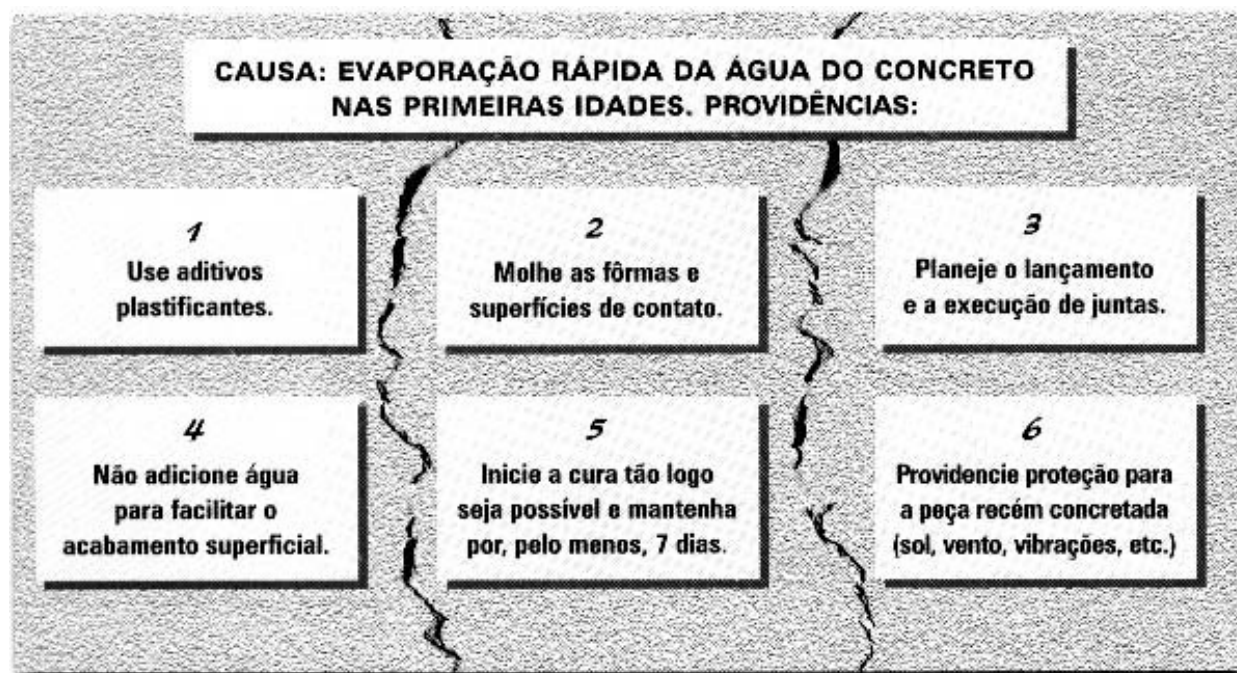
A retração plástica possui duração de 1 a 3 horas após o lançamento do concreto e o seu valor pode atingir de 1 a 20 mm/m, conforme as condições ambientais e da obra. Ela pode ser reduzida, por exemplo, de 6 mm/m para 0,5 mm/m com um bom tratamento de cura.

Recomendações visando reduzir a retração plástica:

- a) Umedecer as formas e a base de lançamento do concreto;
- b) Reduzir a temperatura do concreto em tempo quente;
- c) Evitar temperaturas elevadas do concreto, muito acima da ambiental;
- d) Reduzir o tempo entre a colocação e o início da cura;
- e) Proteger o concreto com coberturas temporárias (membrana de cura, tecido molhado de cor clara, areia molhada, etc.) ou aspergir água em chuveiro entre a colocação e o acabamento superficial;
- f) Proteger a superfície do concreto da ação do vento e da radiação solar, esta para não elevar demasiadamente a temperatura.

Obs.: O teor de cimento obviamente aumenta a retração plástica, o excesso de água de amassamento, também.

Fissuras por retração plástica: como evitá-las



2) - Retração do concreto endurecido:

À medida que o concreto endurece em contato com o meio ambiente, sofre contrações que, para efeito de estudo, pode ser subdividida em 3 causas distintas:

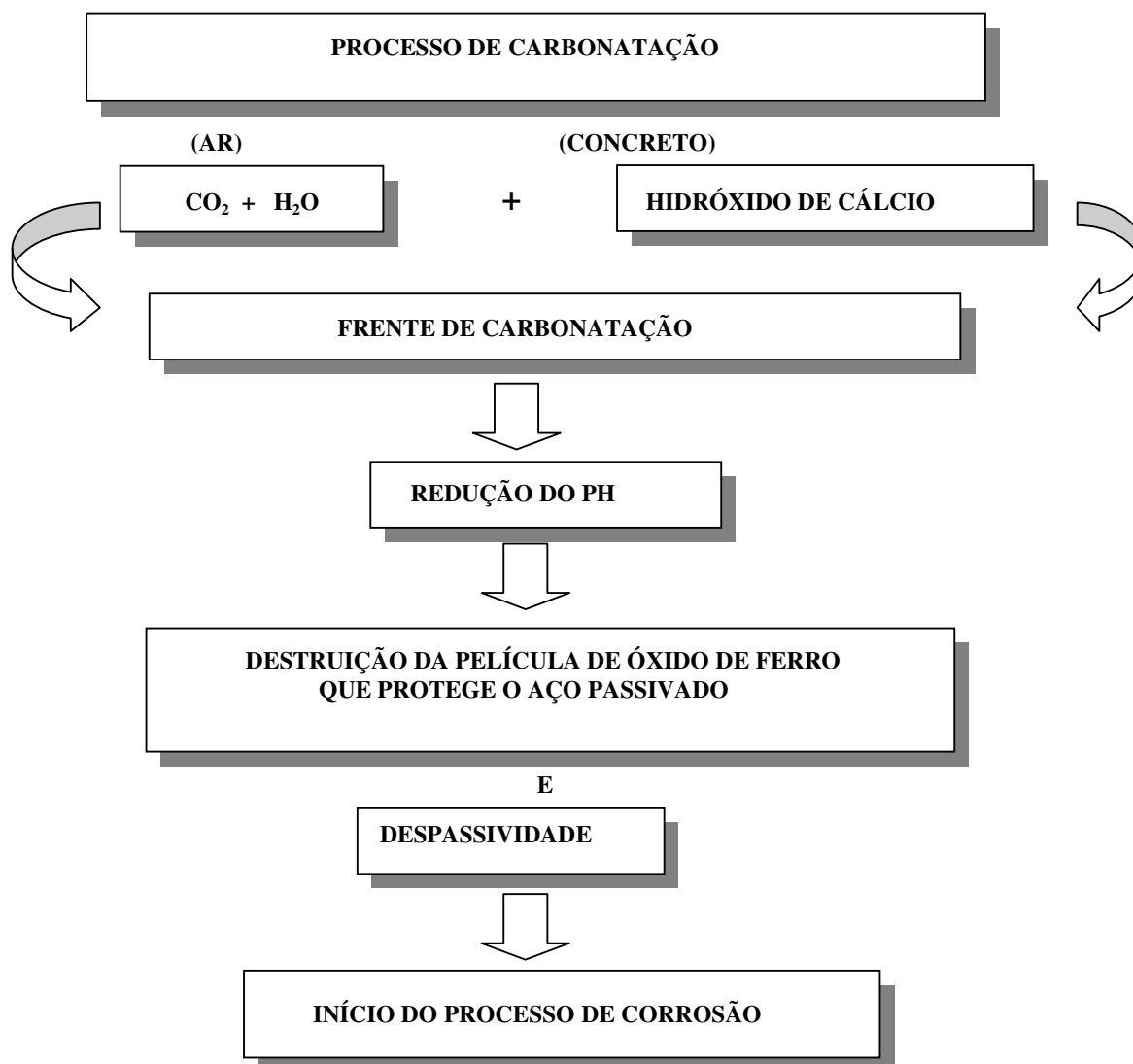
- a) **Retração química ou autógena**, decorrente da contração de volume que experimenta a água combinada quimicamente com o cimento.

- b) **Retração hidráulica ou por secagem**, função do equilíbrio das pressões capilares internas com a tensão do vapor saturante do meio ambiente.
- c) **Retração por carbonatação** decorrente da ação do CO_2 sobre o hidróxido de cálcio liberado na hidratação do cimento.

Na prática é muito difícil individualizar cada um dos tipos de retração devida a cada um dos fenômenos mencionados, havendo pouco ou nenhum interesse neste ponto, pois acontecem simultaneamente, mas com duração diferente ao longo do tempo. Só a última é muito mais lenta, além de indefinida, ocorrendo num prazo variável de 10 a 20 anos.

A retração química é mais marcante nos primeiros 90 dias e sua ordem de grandeza oscila por volta de 0,12 mm/m, sendo seu valor final aproximadamente $\frac{1}{4}$ da retração hidráulica.

A retração hidráulica ocorre mesmo com o concreto descarregado e isento de ações mecânicas externas; o equilíbrio da água intersticial interna se faz exclusivamente pela troca de umidade com o meio ambiente, principalmente sob a forma de perda d'água para o exterior, havendo redução de volume do concreto. Seu valor médio é de 0,5 mm/m para concreto simples.

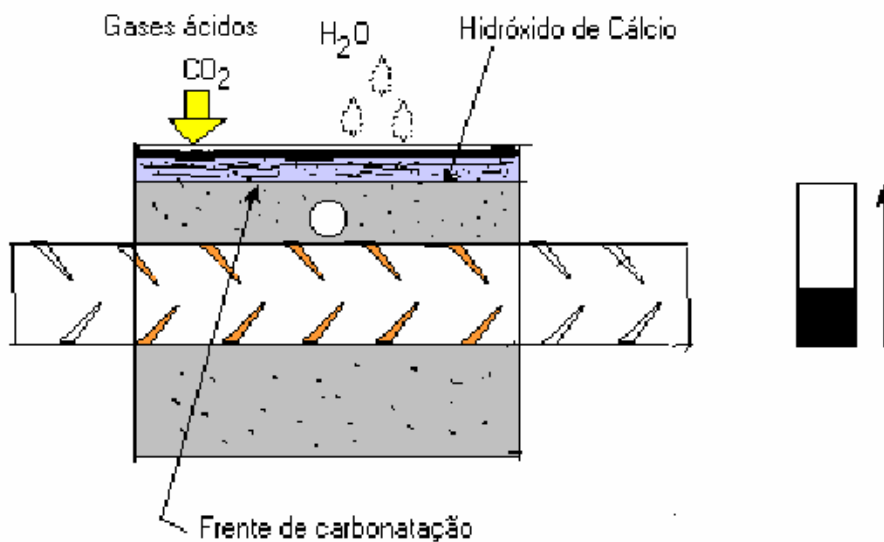


Com a **carbonatação** advêm as seguintes consequências:

- a permeabilidade se reduz e a resistência do concreto aumenta devido à colmatção dos poros e dos vazios capilares pelo CaCO_3 .
- a retração hidráulica aumenta após a carbonatação, por ser o CaCO_3 formado mais compressível que o Ca(OH)_2 .
- Quando a carbonatação atinge a zona da ferragem no concreto armado, a retirada do Ca(OH)_2 leva à despassivação do aço, ou seja, acaba a proteção dada pela película superficial de óxido ficando o interior do vergalhão sujeito à continuidade da corrosão, com isso a taxa de corrosão da armadura aumenta consideravelmente, o que faz cair a durabilidade da estrutura. Ver figura abaixo e capítulo específico nesta apostila.
- a retração por carbonatação aumenta em concretos submetidos a molhagens e secagens alternadas em atmosferas contendo CO_2 , podendo contribuir para a fissuração superficial generalizada.

Obs.: A fissura é uma ruptura localizada gerada pela tensão de tração no concreto, com abertura sempre ortogonal à ação do esforço em casos de contração.

SEQUÊNCIA NO PROCESSO DE CARBONATAÇÃO



O avanço da carbonatação é da ordem de 0,1mm/ano, mas será mais rápido para concretos mais permeáveis, com alta relação A/C, em concreto com $P_H < 12$ e exposto em ambientes com mais altos teores de CO_2 , atmosfera urbana, por exemplo.

Um concreto simples que tenha uma retração de 0,5 mm/m e um módulo de ruptura de 21000 MPa, estará sujeito a uma tensão de tração de aproximadamente 10 MPa, quase o triplo da resistência à tração simples dos concretos de boa qualidade (resistência à tração de 3 a 4 MPa), fissurando-se por consequência, se estiver impedido de deformar-se.

Valores da retração:

Considerando-se a retração total ocorrida num prazo de 20 anos, tem-se que 40% dela aparece até 28 dias, 60% até 90 dias e 80% a 1 ano de idade, notando-se rápido decréscimo com o tempo, segundo Neville.

Já segundo Petrucci, o valor da retração é da ordem de 0,4 mm/m num concreto com 300kg de cimento / m³ e relação A/C de 0,5.

A retração decresce com o Slump e com o aumento do DMC do concreto:

Φ máx (mm)	Consistência - Slump (cm)	Retração mm/m
19	5	0,63
	10	0,71
	15	0,79
38	5	0,44
	10	0,50
	15	0,56
50	5	0,37
	10	0,41
	15	0,45

Nas estruturas de concreto armado, a armadura impõe restrições à deformação do concreto, principalmente no caso de tração.

A deformação específica do concreto armado é considerada igual a 15×10^{-5} pela NBR 6118 (NB-1 da ABNT), para peças correntes.

Para o cálculo mais preciso da retração do concreto, ver Deformações e Fissuração do Concreto em Estruturas Correntes do Engº Geraldo Cechella Isaia, publicação da UFSM-RS.

Variações de temperatura:

Os decréscimos de temperatura podem dar tensões de tração que são necessariamente tomados em conta, se for possível a fissuração.

Coefficiente de dilatação do concreto: $1 \times 10^{-5} / ^\circ\text{C} \rightarrow$ NBR 6118 (NB-1)

Coefficiente de dilatação de alguns agregados:

Pedregulho e quartzito ☐ $0,4 \text{ a } 0,5 \times 10^{-5} / ^\circ\text{C}$

Granitos ☐ α intermediário

Calcário ☐ $0,2 \text{ a } 0,3 \times 10^{-5} / ^\circ\text{C}$

- A preocupação maior deve ser sempre com as estruturas expostas.

- Normalmente é admissível o aparecimento de fissuras no concreto armado, salvo naquelas destinadas a conter água.

A fissuração aparece na zona de tração, onde o alongamento do aço difere do alongamento do concreto que atinge o valor de ruptura.

SALIGER estabelece uma correlação entre a tensão no aço (f_a), para a qual o concreto começa a fissurar, a porcentagem de armadura (ρ) e a resistência cilíndrica do concreto à compressão (f_c), através da equação de uma hipérbole que permite estimar a proporção de aço de uma dada tensão de trabalho, acima da qual o concreto fissurará.

Fórmula:

$$f_a = (0,05/\rho + 2) \cdot f_c ,$$

Para uma resistência $f_c = 33$ MPa, por exemplo, ter-se-ia os seguintes valores:

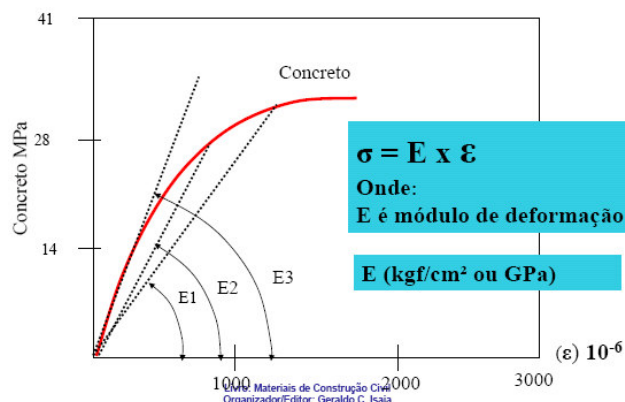
ρ (%)	f_a (MPa)
0,5	395
1,0	230
1,5	175
2,0	148
2,5	132
3,0	122

Essa fórmula pode ser usada como um guia, porque outras variáveis têm influência, tais como o recobrimento.

- Nas estruturas hidráulicas e naquelas expostas a uma atmosfera corrosiva é necessário prever um elevado fator de segurança contra a fissuração a fim de impedir a fuga de água e o ataque à armadura.

Em geral, as deformações mais importantes são devidas à retração e às variações de temperatura.

Módulo de elasticidade (NBR 6118/2003)



Determinado pela NBR 8522.

$$E_{ci} = E_c, 30\% f_c = E_c = 5600 f_{ck}^{1/2} \quad (E_c \text{ e } f_{ck} \text{ dados em MPa})$$

Obs.: Em muitos casos é prudente adotar módulos de elasticidade E_c menores que $5600 \cdot f_{ck}^{1/2}$, sendo prudente e muito mais conveniente adotar valores da ordem de $E_c = 5000 \cdot f_{ck}^{1/2}$.

O módulo de elasticidade secante (a $0,4f_{ck}$, ou $0,45f_{ck}$, ou qualquer outra tensão) a ser utilizado nas análises elásticas de projeto, especialmente para determinação de esforços solicitantes e verificação de estados limites de serviço, pode ser calculado pela expressão:

$$E_{cs} = 0,85 E_c \text{ (MPa)}$$

De acordo com a NBR 6118:2003, para tensões de compressão menores que $0,5f_c$ e tensões de tração menores que f_{ct} , o coeficiente de Poisson pode ser tomado como igual a 0,2 e o módulo de elasticidade transversal G_c igual a $0,4 E_{cs}$.

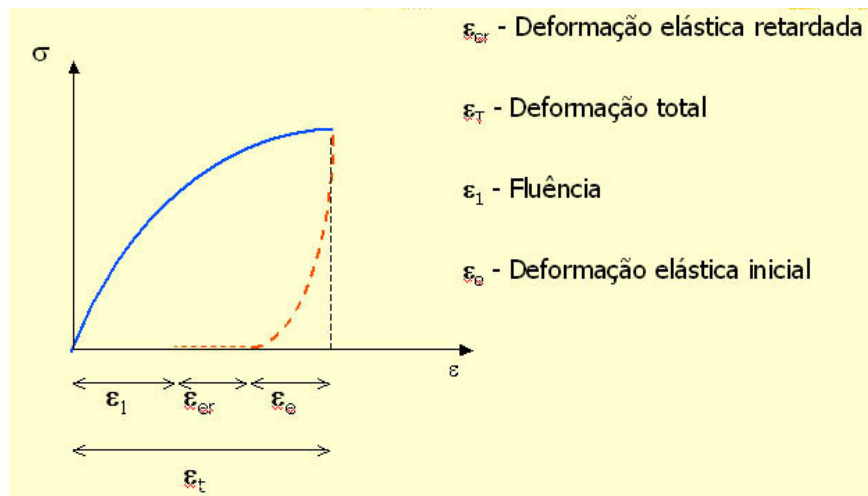
Deformação lenta: é a deformação que aparece nas peças de concreto com o decorrer do tempo e com a manutenção do carregamento.

Deformação lenta = deformação elástica retardada + fluência
--

A grandeza do carregamento influi no valor alcançado pela deformação lenta. Para tensões com valores da ordem de até 40% a 60% da tensão de ruptura, há proporcionalidade entre a grandeza final da deformação lenta e as tensões aplicadas. Para tensões mais próximas à tensão de ruptura, cresce o valor da deformação lenta em maior proporção que o da tensão, ou conduzindo finalmente o material à ruptura (ruptura sob carga de longa duração). A deformação lenta aumenta para carregamentos introduzidos em concretos menos endurecidos.

Deformação elástica retardada → desaparece com a retirada do carregamento, porém não imediatamente.

Fluência → é a deformação que não desaparece com a retirada do carregamento, nem mesmo com o passar do tempo.



Quando se sujeita uma peça de concreto a uma tensão constante com caráter de permanência, verifica-se que a sua deformação instantânea aumenta progressivamente com o tempo de aplicação.

“ Baseado nas recomendações da NBR 6118:2003 e do Model Code (CEB-FIP) 90, quando não há impedimento à livre deformação do concreto e a ele é aplicada, no tempo t_0 , uma tensão constante no intervalo $t - t_0$ sua deformação total, no tempo t , vale:

$$ec(t) = ec(t_0) + ecc(t) + ecs(t)$$

onde:

- $ec(t_0) = \sigma_c(t_0) / E_c(t_0)$ é a deformação imediata, por ocasião do carregamento, com $E_c(t_0)$;
- $ecc(t) = [\sigma_c(t_0) / E_{c28}] \Rightarrow (t, t_0)$ é a deformação por fluência, no intervalo de tempo (t, t_0) , com E_{c28} calculado pela mesma expressão, para $j = 28$ dias
- $ecs(t)$ é a deformação por retração, no intervalo de tempo (t, t_0)

O aumento da deformação ou contração do concreto, no tempo, e sob carga de longa duração (acima de 15 minutos), sem variação térmica nem de UR, é chamada de fluência ou deformação lenta do concreto.

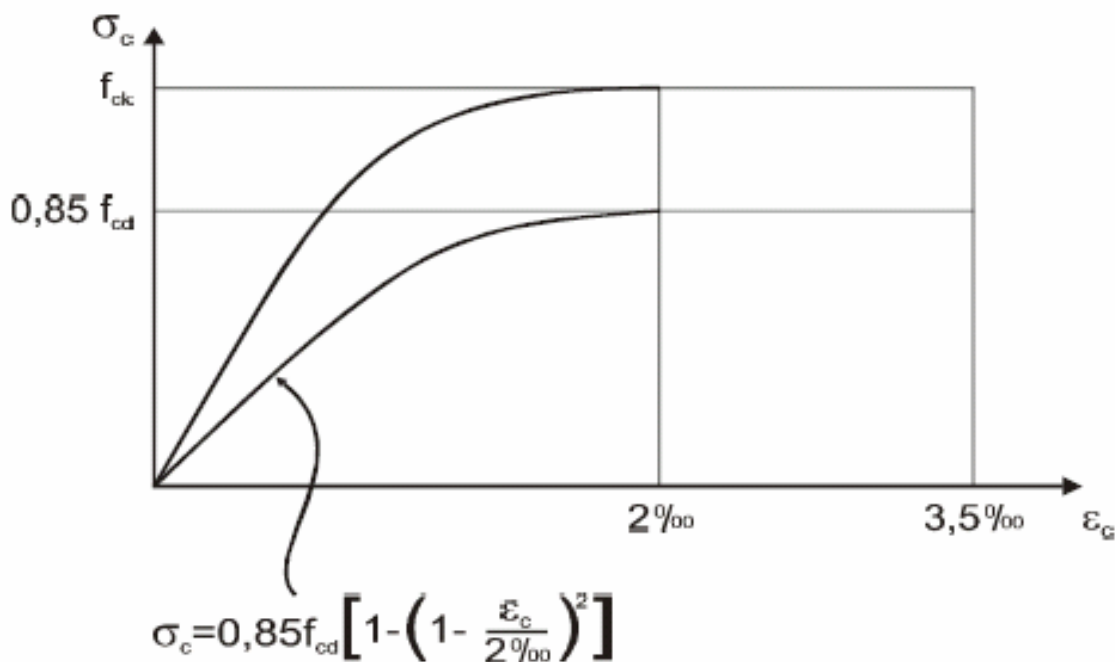
O concreto sofre uma deformação inicial devida à deformação “elástica” por ação da aplicação da carga (chamada de deformação instantânea < 15 minutos), uma deformação devida à retração hidráulica e uma contração diferida no tempo devida às cargas de longa duração. Esses fenômenos são interativos e uns interferem nos outros.

Principais fatores que influenciam a fluência do concreto:

- Resistência do cimento (inversamente)
- Aditivos redutores de água diminuem a fluência
- Natureza do agregado (calcário → quartzo → granito → basalto - crescente).
- idade (inversamente)
- Tempo de carga (diretamente)
- Umidade relativa do ar (inversamente)

Ordem de grandeza da Fluência específica:

- 0,6 a 0,8 x 10⁻³ para concreto com 90 dias a 1 ano
- Exposto a 70% de umidade relativa ambiente
- Espécimes cilíndricos com 10 cm de diâmetro e 36 cm de altura
- Dosagem de cimento de 325 kg / m³
- Relação A/C de 0,59
- Cura por 28 dias em atmosfera saturada e 21°C de temperatura
- Suportando uma tensão aplicada de 5,6 MPa após os 28 dias
- Temperatura a que foram realizados os ensaios : 21°C

Diagrama Tensão - Deformação: (compressão do concreto) - NBR-6118

onde,

σ_c = Tensão normal de compressão no concreto;

f_{CD} = Resistência de cálculo do concreto à compressão (γ);

f_{ck} = Resistência característica do concreto à compressão;

γ_c = Coeficiente de minoração da resistência do concreto;

f_{cmj} = Resistência média do concreto à compressão na idade de j dias;

ϵ_c = Deformação específica do concreto à compressão;

E_c = Módulo de deformação longitudinal do concreto;

G_c = Módulo de deformação transversal;

$1/m$ = Coeficiente de Poisson (transversal);

$$G_c = 0,42 \text{ a } 0,44 E_c$$

$$m = 5 \text{ a } 7 \quad \therefore 1/m \cong 0,2 \quad \square \text{ coeficiente de Poisson}$$

O coeficiente de Poisson relativo às deformações elásticas será 0,2.

Obs.: O coeficiente 0,85 leva em consideração que as cargas atuantes sobre a estrutura são de longa duração, enquanto que os ensaios de resistência nos corpos de prova são de realização quase instantânea.

O coeficiente de minoração γ_c considera as diferenças de resistência potencial dos corpos de prova e a do concreto da estrutura, e desvios geométricos entre projeto e obra.

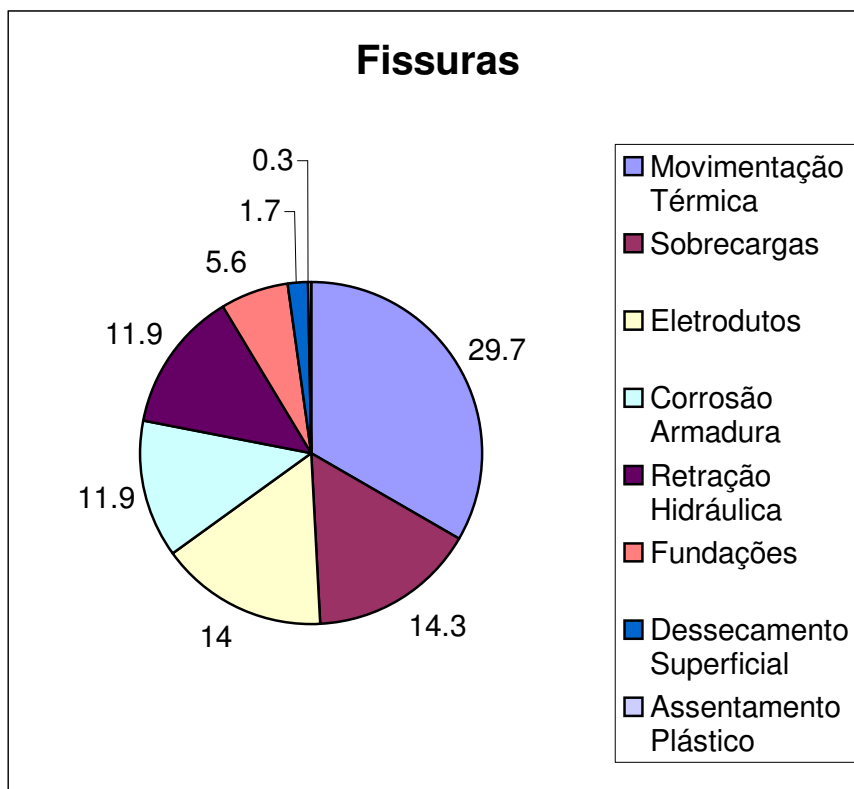
TABELA 4-3. COMBINAÇÕES DE CONDIÇÕES DE CARREGAMENTOS, RESTRIÇÃO E UMIDADE.

MECANISMO	DIAGRAMA	DEFORMAÇÃO VERSUS TEMPO	TENSÃO VERSUS TEMPO	OBSERVAÇÕES
FLUÊNCIA BÁSICA				•SEM MOVIMENTO DE UMIDADE ENTRE O CONCRETO E O AMBIENTE (SEM RETRAÇÃO POR SECAGEM) •TENSÃO CONSTANTE AO LONGO DO TEMPO
RELAXAÇÃO DA TENSÃO	CONFIGURAÇÃO INICIAL 			•DEFORMAÇÃO DE TENSÃO AO LONGO DO TEMPO
RETRAÇÃO POR SECAGEM (NÃO RESTRINGIDA)				•A PEÇA ESTÁ LIVRE PARA MOVER-SE •NÃO HÁ GERAÇÃO DE TENSÃO
RETRAÇÃO POR SECAGEM (RESTRINGIDA)				DENVOLVIMENTO DE TENSÃO POR TRAÇÃO
RETRAÇÃO POR SECAGEM (SOB DEFORMAÇÃO CONSTANTE)	CONFIGURAÇÃO INICIAL 			O EXEMPLO ANTERIOR É UM CASO PARTICULAR COM $\epsilon = 0$
FLUÊNCIA + RETRAÇÃO POR SECAGEM				•A DEFORMAÇÃO TOTAL NÃO É A SOMA DAS DEFORMAÇÕES ELÁSTICAS, POR FLUÊNCIA BÁSICA E DE RETRAÇÃO POR SECAGEM. A DEFORMAÇÃO DEVIDA À FLUÊNCIA POR SECAGEM DEVE SER INCLuíDA
RETRAÇÃO POR SECAGEM + RELAXAÇÃO DA TENSÃO (RESTRINGIDA)				•A TENSÃO DE RELAXAÇÃO SE OPÕE À TENSÃO DEVIDA À RETRAÇÃO POR SECAGEM
RETRAÇÃO POR SECAGEM + RELAXAÇÃO DA TENSÃO (SOB DEFORMAÇÃO CONSTANTE)	CONFIGURAÇÃO INICIAL 			•A RETRAÇÃO E A RELAXAÇÃO DE TENSÃO AGEM NA MESMA DIREÇÃO

DURABILIDADE DO CONCRETO

PROFILAXIA E PATOLOGIA NAS CONSTRUÇÕES DE CONCRETO ARMADO

ANOMALIAS OBSERVADAS				
	CONGÊNITAS	CONSTRUTIVAS	ACIDENTAIS	ADQUIRIDAS
Causa	• concepção inadequada • erro de projeto	• materiais inadequados • mão-de-obra e/ou métodos inadequados	• incêndios • ventos • recalques • terremotos	• fenômenos térmicos • utilização inadequada
Efeito	• alta densidade ou deficiência de armadura • tensões não previstas no concreto	• cobrimento deficiente • retração excessiva • baixa resistência • deformações	• esforços de natureza excepcional	• trincas ativas e/ou passivas • corrosão das armaduras
Consequência	• fissuras, trincas ou rachaduras • desagregação • deslocamento • ruptura	• concentração de tensões • rupturas • porosidade, desgaste do concreto • corrosão do aço	• movimentos da construção • fissuras, trincas ou rachaduras • rupturas	• desagregação do concreto • redução da seção do aço • perda do cobrimento • rupturas



CAUSAS DA DETERIORAÇÃO DO CONCRETO

CAUSAS FÍSICAS

CAUSAS QUÍMICAS

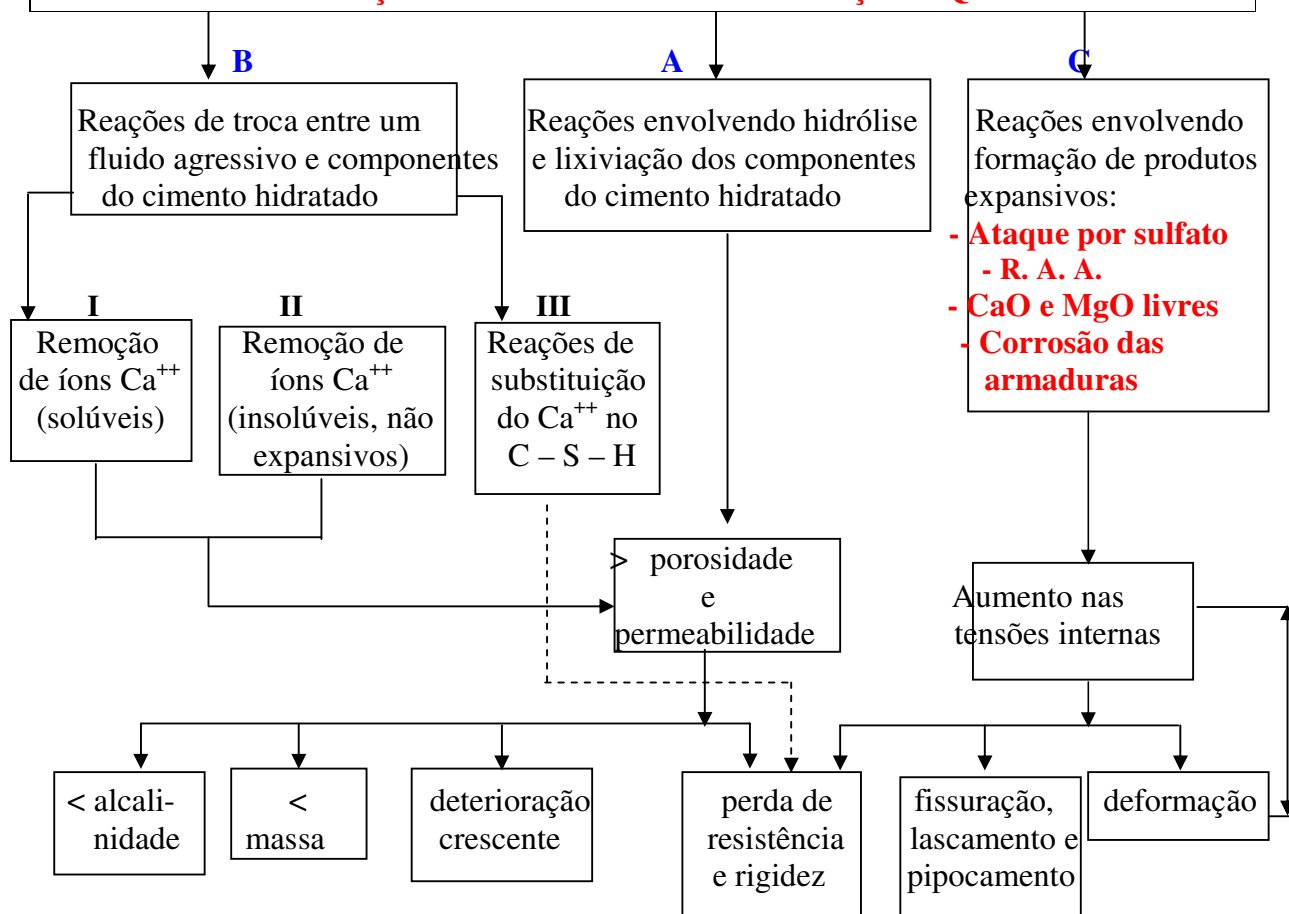
CAUSAS FÍSICAS DA DETERIORAÇÃO DO CONCRETO

DESGASTE DA SUPERFÍCIE

FISSURAÇÃO

DESGASTE DA SUPERFÍCIE			FISSURAÇÃO		
Abrasão	Erosão	Cavitação	Mudanças de volume devidas a:	Carga estrutural:	Exposição a extremos de temperatura:
			1. Gradientes normais de temperatura e umidade 2. Pressão de cristalização de sais nos poros	1. Sobrecarga e impacto 2. carga cíclica	1. Gelo-degelo 2. Fogo

DETERIORAÇÃO DO CONCRETO POR REAÇÕES QUÍMICAS



A ⇒ Ataque por água pura e água mole (sem Ca^{++}) no $\text{Ca}(\text{OH})_2$ e C-S-H do concreto

[O $\text{Ca}(\text{OH})_2$ é solúvel- 1,23g/l na água pura-] + $\text{CO}_2 \Rightarrow \text{CaCO}_3$ (eflorescências brancas)

B $\Rightarrow$ Geração de sais solúveis de cálcio tais como cloreto de cálcio, acetato de cálcio e bicarbonato de Cálcio.

B I $\Rightarrow$ Cloreto de amônia: $2\text{NH}_4\text{Cl} + \text{Ca}(\text{OH})_2 \Rightarrow \text{CaCl}_2 + 2\text{NH}_4\text{OH}$ (solúveis)

B II $\Rightarrow$ Ácido carbônico: $\text{H}_2\text{CO}_3 + \text{Ca}(\text{OH})_2 \Rightarrow \text{CaCO}_3 + 2\text{H}_2\text{O}$ $\rightarrow$ solúvel
 $+ \text{CO}_2 + \text{H}_2\text{O} \Rightarrow \text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$

Águas com $\text{pH} < 7$, perigo de concentrações danosas de CO_2 na mesma (até 150mg/l)

B III $\Rightarrow$ Ataque por íons de magnésio. Formam-se hidratos de silicato de magnésio, deslocando o cálcio, com isso, < resistência porque silicato de magnésio não é cimentício.

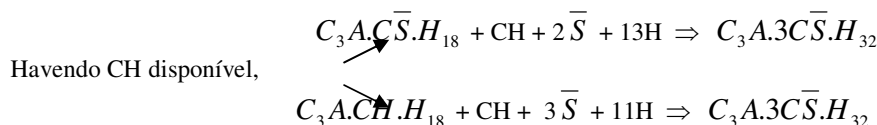
C $\Rightarrow$ **Reações expansivas:**

C I $\Rightarrow$ **Ataque por Sulfato**

A contaminação com SO_4 torna-se perigosa a partir de 0,1 % no solo ou de 150mg/l na água. Se, > 0,5% de sulfato solúvel no solo ou 2000mg/l na água, pode haver sérios efeitos. Gipsita no solo (0,01 % a 0, 05% em SO_4) $\Rightarrow$ inofensiva.

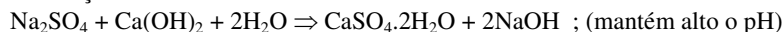
$\text{C}_3\text{A} > 5\%$ no cimento $\Rightarrow$ a > parte será monossulfato = $\text{C}_3\text{A}.\overline{\text{CS}}.\text{H}_{18}$

$\text{C}_3\text{A} > 8\%$ no cimento $\Rightarrow$ haverá o hidrato $\text{C}_3\text{A}.\text{CH}.\text{H}_{18}$

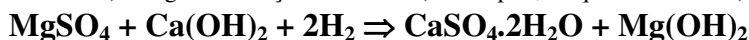


A formação de gipsita por troca de cátions também pode causar expansão:

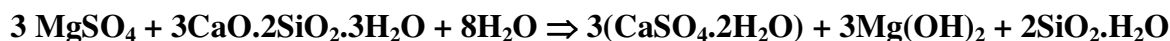
a) Na^+ na solução de sulfato



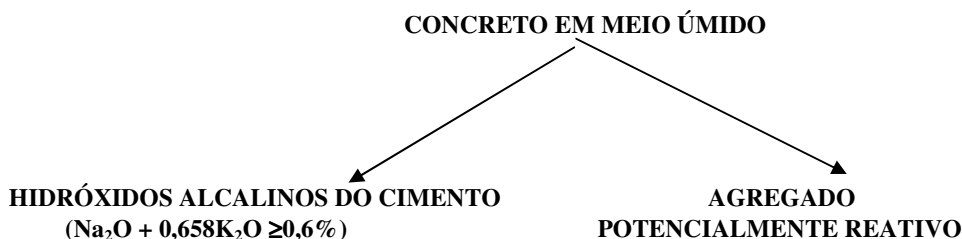
b) Mg^{++} na solução de sulfato (menor pH ; ataque mais severo)



ou



C II $\Rightarrow$ **RAA (Reação Álcali-Agregado)**



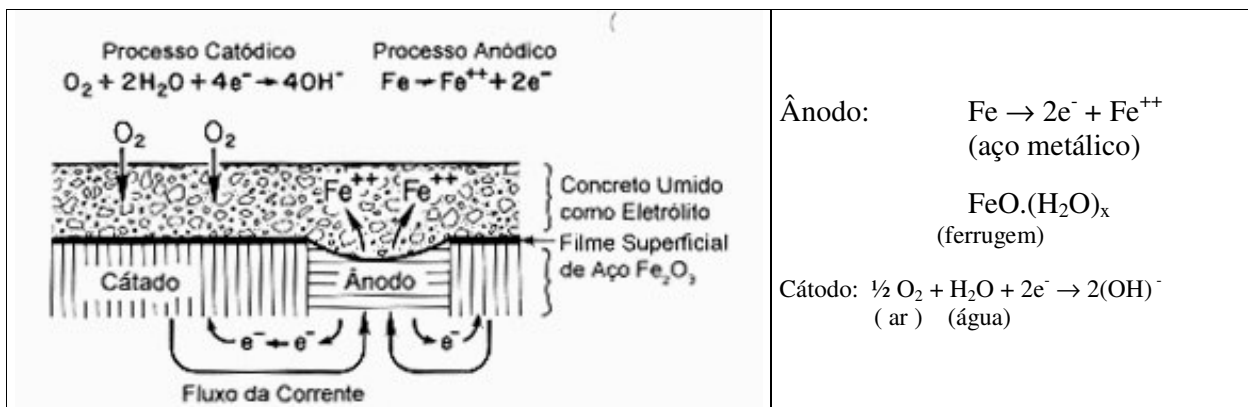
Obs.: visto com mais detalhes no capítulo sobre agregados

C III $\Rightarrow$ **Hidratação Retardada de CaO e MgO Cristalinos**

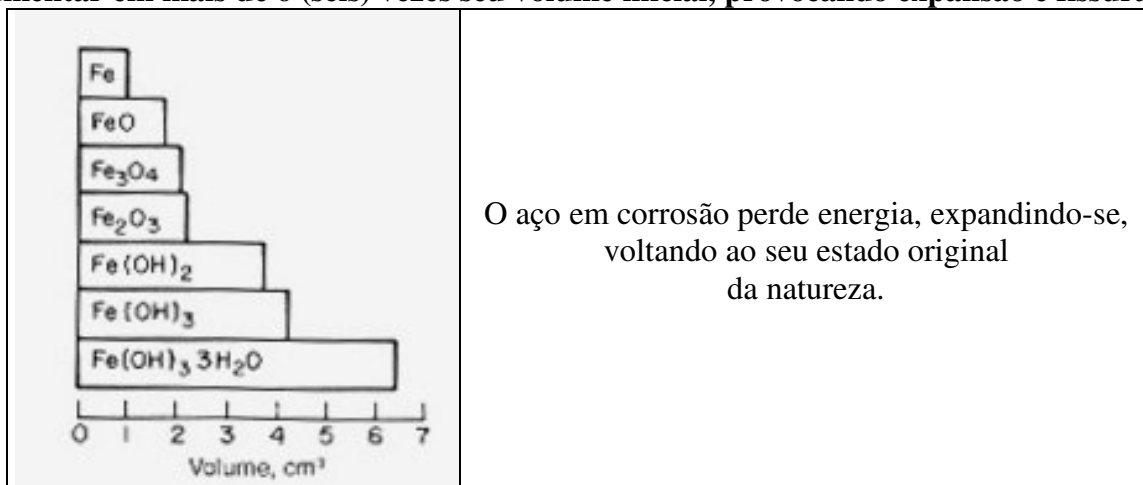
Controle: MgO (cristais de periclásio) $\leq 6\%$ no cimento e CaO livre $\leq 1\%$

C IV ⇒ Corrosão das Armaduras (expansão, fissuração e destacamento)

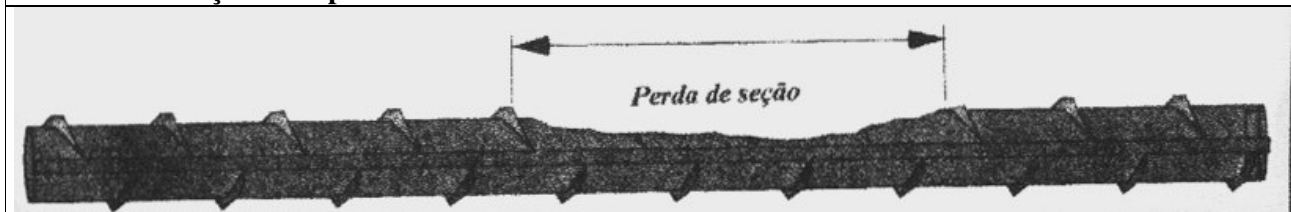
A figura abaixo ilustra o processo eletroquímico da corrosão do aço no concreto úmido e permeável. A célula galvânica estabelece um processo anódico e um processo catódico. O processo anódico não pode ocorrer até que o filme protetor ou passivo de óxido de ferro seja, ou removido em um ambiente ácido (após carbonatação do concreto), ou tornado permeável pela ação de íons Cl^- . O processo catódico não pode ocorrer até que uma quantidade suficiente de oxigênio e água esteja disponível na superfície do aço. A resistividade elétrica do concreto também é reduzida na presença de umidade e sais.



Pela figura abaixo, vê-se que, dependendo do estado de oxidação, o aço metálico pode aumentar em mais de 6 (seis) vezes seu volume inicial, provocando expansão e fissuração.



Provoca a redução da capacidade estrutural

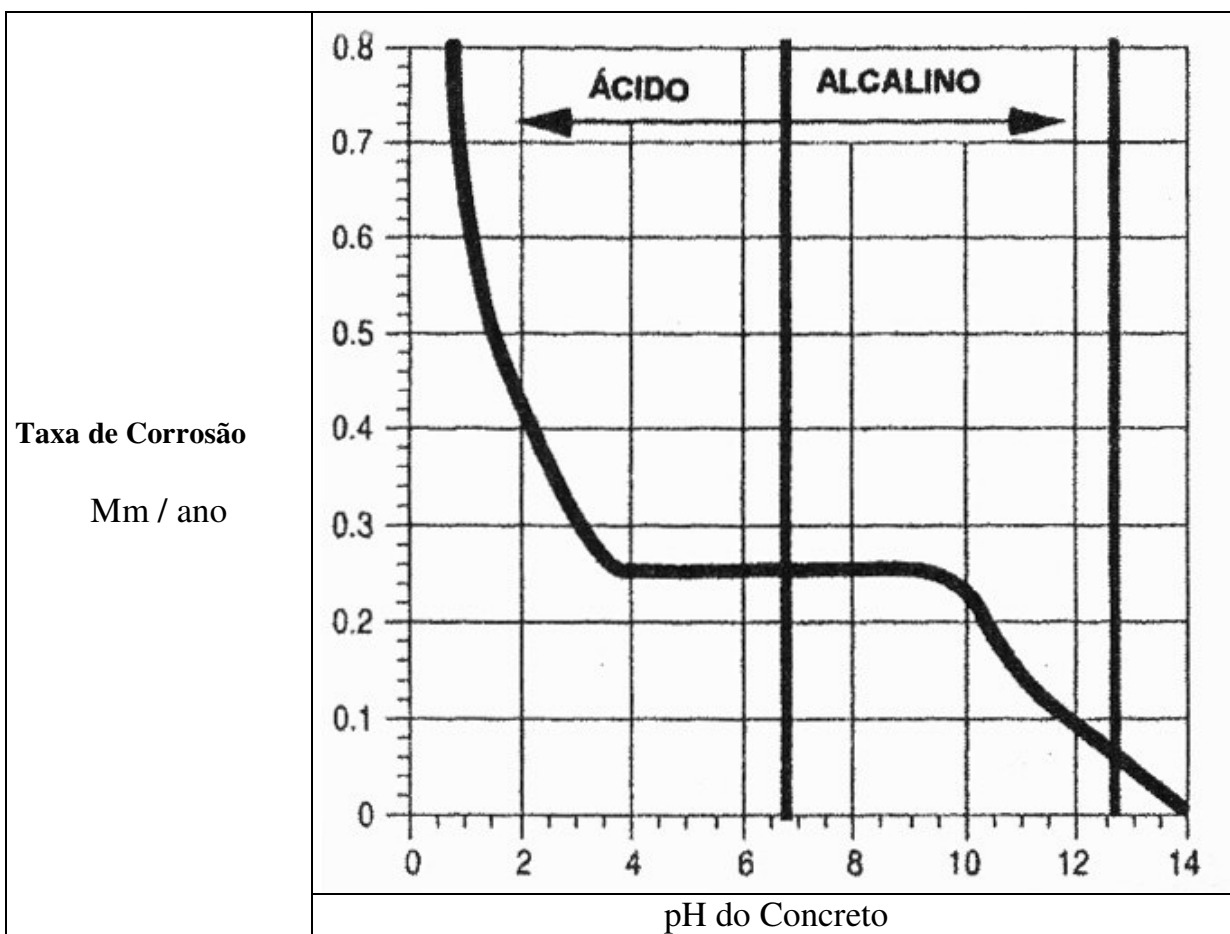


**CONCRETO EM AMBIENTE ALCALINO COM $\text{pH} > 13$,
ARMADURA PASSIVADA E ESTÁVEL INDEFINIDAMENTE**

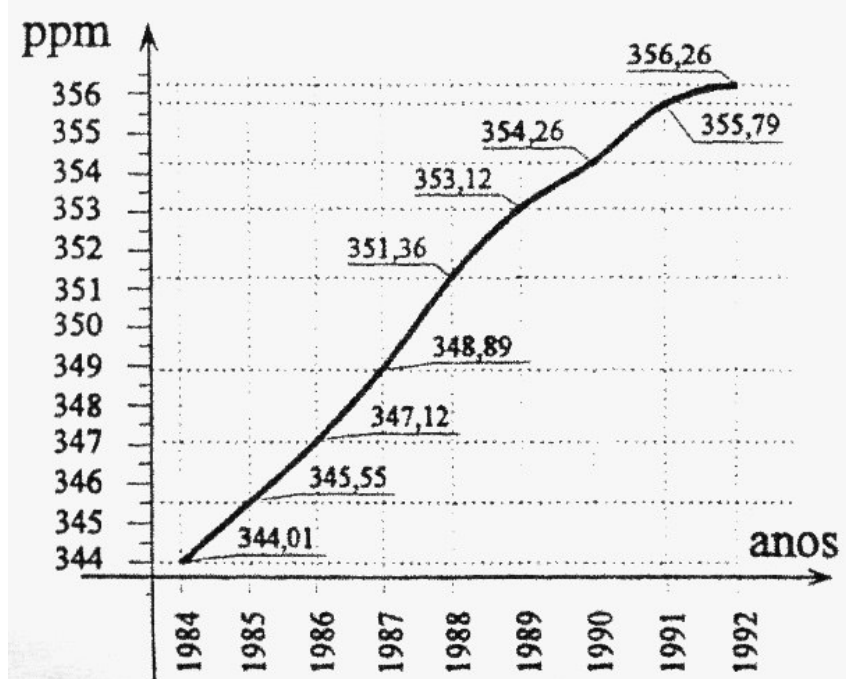
CARBONATAÇÃO = PERDA DE ALCALINIDADE



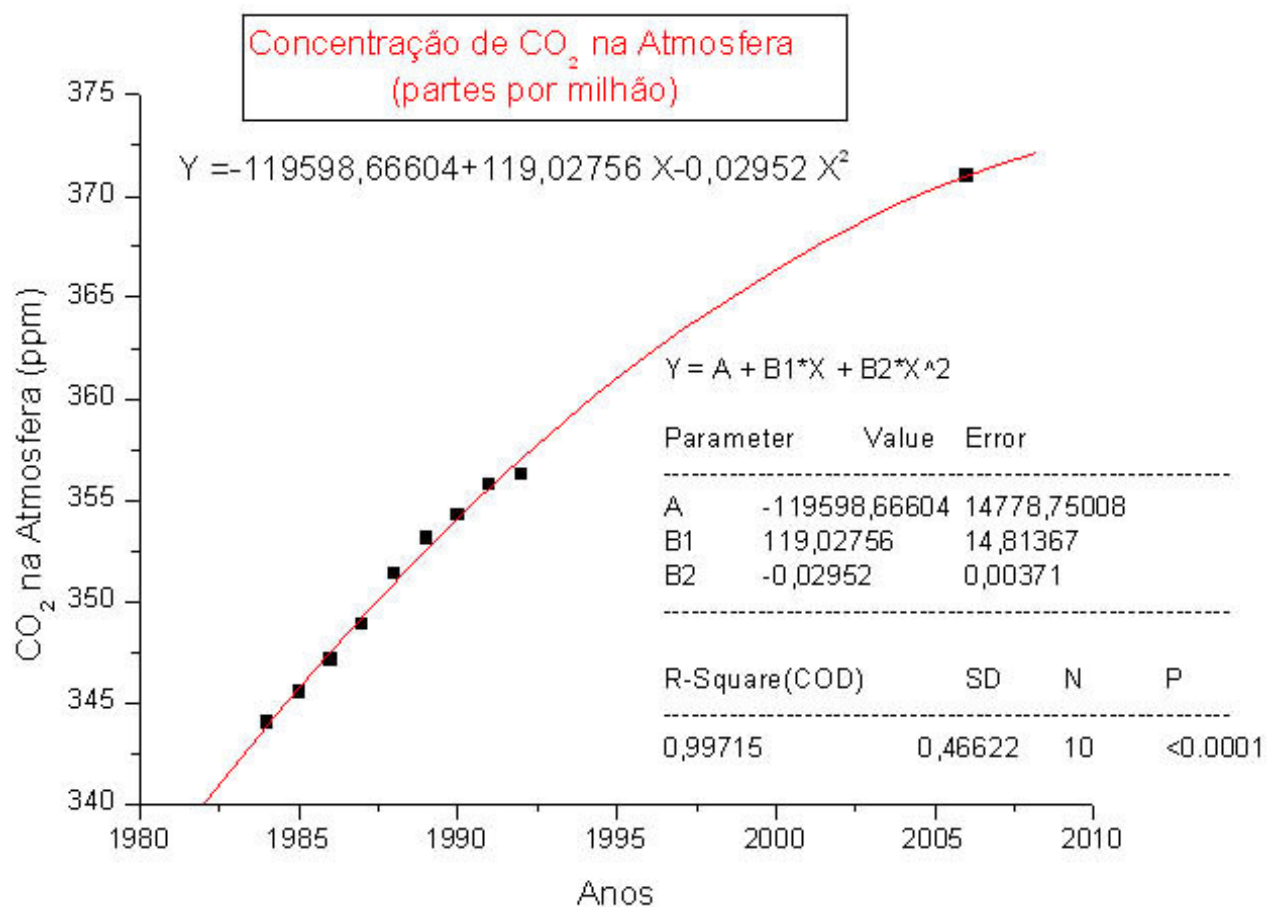
RELAÇÃO ENTRE PH E TAXA DE CORROSÃO



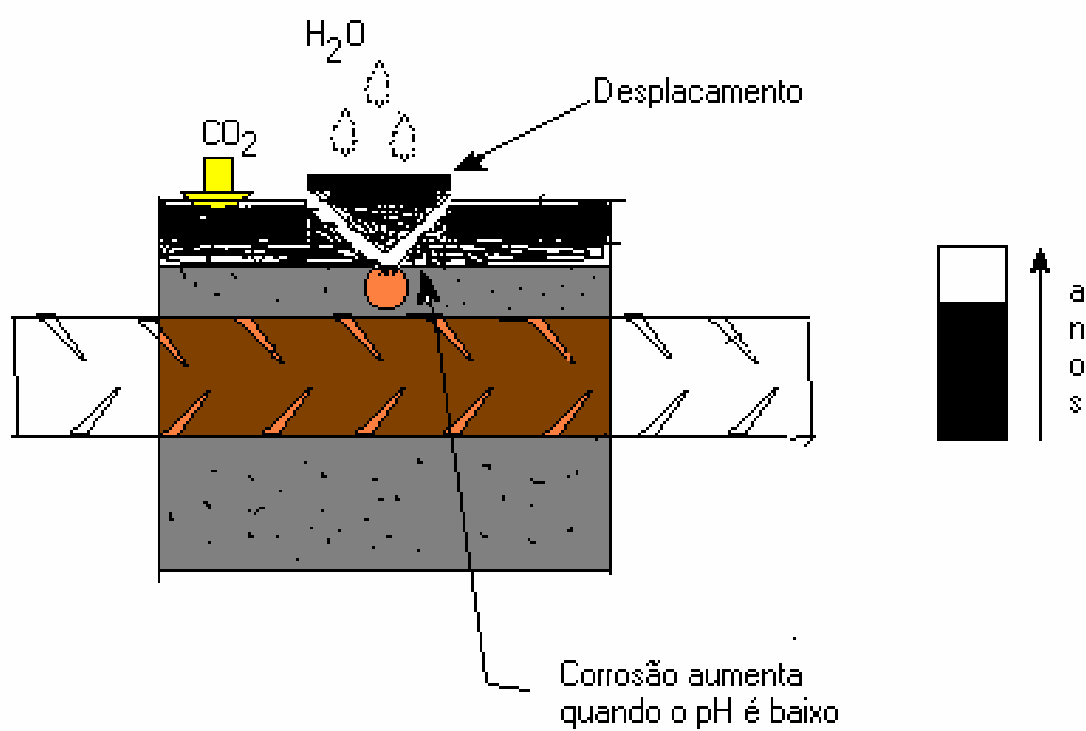
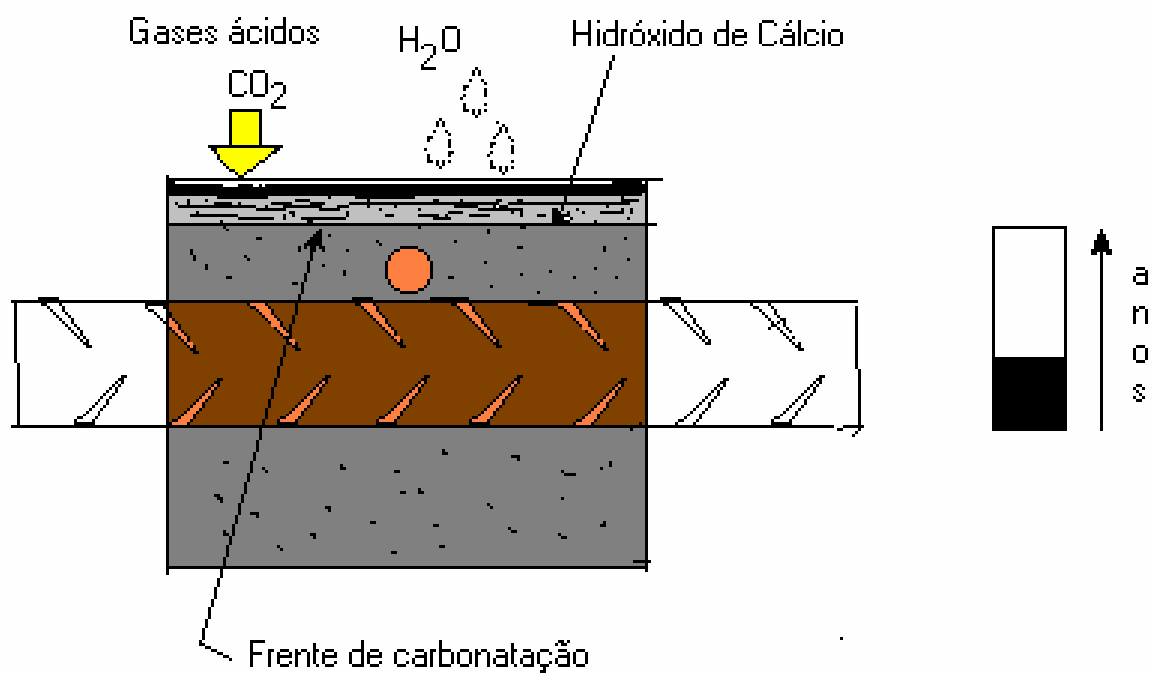
EVOLUÇÃO NA CONCENTRAÇÃO DE CO₂ NA ATMOSFERA



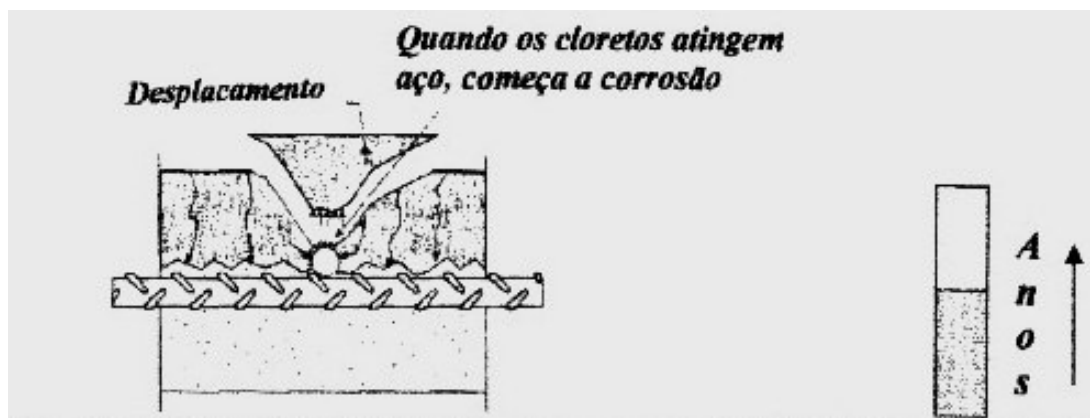
Fazendo-se uma projeção dos dados acima, obtém-se a equação do gráfico apresentado abaixo:



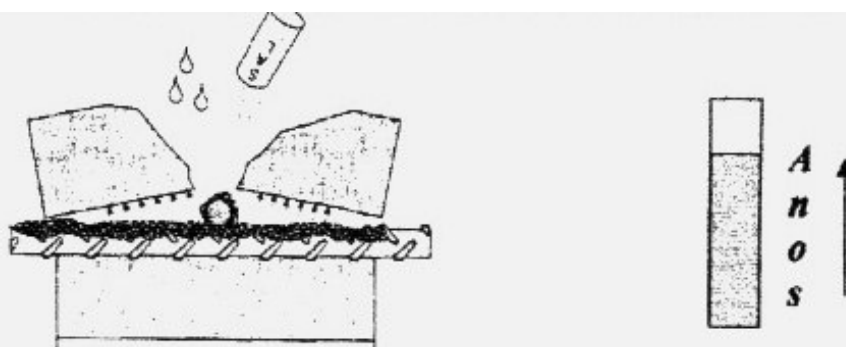
SEQUÊNCIA NO PROCESSO DE CARBONATAÇÃO



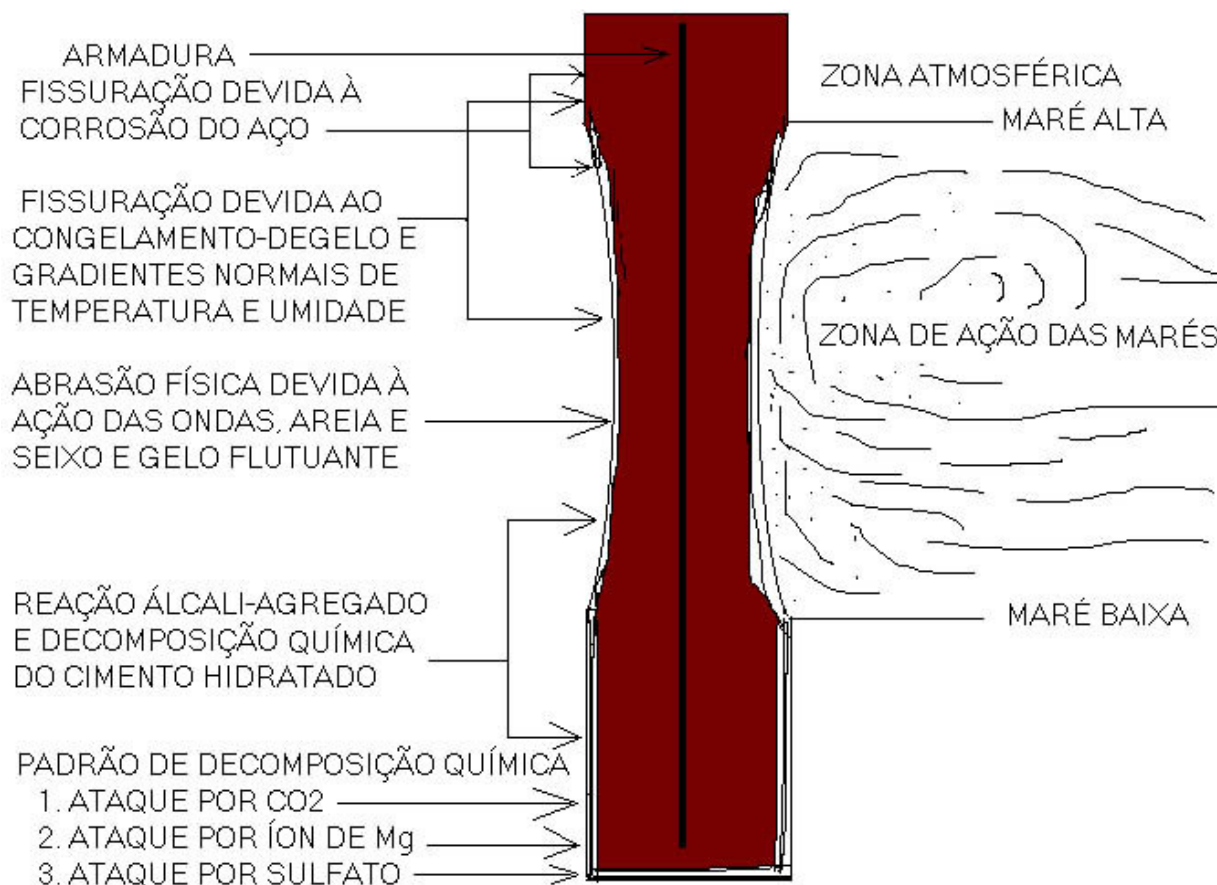
CORROSÃO POR PENETRAÇÃO DE CLORETOS



Mais penetração de cloretos implica em mais corrosão, trincas e deslocamento.



CONCRETO EXPOSTO À ÁGUA DO MAR



PRODUÇÃO DOS CONCRETOS – CONCRETAGEM

Numa obra, a operação “concretagem” compreende as seguintes fases:

I	Preparo do concreto	Resistência (traço)
		Medida dos Materiais
		Amassamento Manual
		Amassamento Mecânico
II	Concretagem	Transporte
		Lançamento
		Adensamento
		Juntas de Concretagem
III	Cura e Retirada das Formas e do Escoramento	

Prescrições da Norma NBR 14931/2004 sobre o assunto:

I - Preparo do concreto:

Resistência (traço):

(1) Tanto para preparo na obra quanto para fornecimento pré-misturado, a dosagem terá por base a resistência característica f_{ck} . Assim, a resistência de dosagem f_{cj} será igual a $f_{ck} + 1,65 S_d$.

Medida dos Materiais:

- (2) O erro máximo permitido é de 3% do peso de cada material.
- (3) Para os agregados miúdos, levar em conta a influência da umidade
- (4) Para os aditivos, o erro máximo permitido é de 5%

Amassamento Manual (desaconselhável):

- (5) Só permitido em obras de pequeno vulto
- (6) Deverá ser executado sobre estrado plano impermeável.
- (7) O volume máximo a amassar por vez é o correspondente a 100kg de cimento (2 sacos).

Amassamento Mecânico:

- (8) Deverá durar o tempo necessário para a completa homogeneização da mistura (mínimo de 2 minutos após carregamento).
- (9) Para concreto pré-misturado, aplica-se a EB-136 (NBR 7212).

II - Concretagem:

Transporte:

- (10) O meio utilizado para levar o concreto do local de amassamento até o de lançamento não deverá acarretar desagregação, segregação ou perda d'água.
- (11) Evitar depósito intermediário.
- (12) Para concreto bombeado, o diâmetro da tubulação deve ser, pelo menos, 4 vezes maior que o DMC do agregado.
- (13) O transporte, o lançamento e o adensamento deverão ser executados antes do início de pega do cimento.

Lançamento Convencional:

- (14) Deverá ser executado logo após o amassamento, não sendo permitido intervalo superior a 1 hora.
- (15) Se for utilizado retardador de pega, o tempo poderá ser aumentado de acordo com as características do aditivo.
- (16) A altura de queda livre não deverá ultrapassar 2 metros.
- (17) Para peças estreitas e altas, o concreto deverá ser lançado por janelas abertas na parte lateral da forma por meio de funis ou “trombas”.
- (18) Cuidados especiais devem ser tomados para lançamentos em ambientes com temperatura fora da faixa 10°C - 40°C.

Lançamento Submerso:

- (19) O consumo mínimo de cimento por m³ de concreto deverá ser de 400kg ($C \geq 400$)
- (20) O concreto deverá ser lançado dentro de uma tubulação para evitar o contacto direto com a água na sua queda.
- (21) Usar processo especial de eficiência comprovada.
- (22) Após o lançamento, o concreto não poderá ser manuseado para se lhe dar a forma definitiva.
- (23) Não se deverá lançar concreto submerso estando a temperatura da água abaixo de 5°C ou com velocidade superior a 2m/s.

Adensamento:

(24) Durante e logo após o lançamento, o concreto deverá ser vibrado ou socado, contínua e energicamente, com equipamento adequado à trabalhabilidade do concreto.

(25) Não formar ninhos ou segregar os materiais.

(26) Preencher todos os recantos da forma

(27) Evitar a vibração da armadura para que não se formem vazios ao seu redor, com prejuízo da aderência.

(28) No adensamento manual, as camadas de concreto não deverão exceder 20cm.

(29) Para vibradores de imersão, a espessura das camadas não deverá exceder $\frac{3}{4}$ do comprimento da agulha do vibrador.

Juntas de Concretagem:

(30) Remover a nata e fazer a limpeza da superfície da junta

(31) Deixar barras cravadas ou redentes (esperas) no concreto velho.

(32) Localizar as juntas onde forem menores os esforços de cisalhamento, mas preferencialmente, em posição normal aos de compressão.

III - Cura e Retirada das Formas e do Escoramento:

(33) Enquanto não atingir endurecimento satisfatório, o concreto deverá ser protegido contra agentes prejudiciais tais como: secagem, chuva forte, mudanças bruscas de temperatura, choques e vibrações capazes de provocar fissurações ou prejudicar sua aderência às armaduras.

(34) **A proteção contra a secagem prematura (cura)**, pelo menos nos primeiros 7 dias após o lançamento, aumentando este mínimo se a natureza do cimento o exigir, poderá ser feita mantendo-se umedecida a superfície ou protegendo-a com uma película impermeável.

(35) O endurecimento poderá ser acelerado por meio de aditivos aceleradores ou por tratamento térmico adequado, não se dispensando, no entanto, as medidas de proteção contra a secagem.

Prazos para a Retirada das Formas e do Escoramento:

(36) A retirada das formas e do escoramento só deverá ser feita quando o concreto estiver suficientemente endurecido para suportar as ações que sobre ele atuarem e não conduzirem a deformações inaceitáveis, principalmente, devido ao valor baixo de E_c (módulo de deformação longitudinal do concreto) e à maior probabilidade de deformação lenta quando o concreto é solicitado com pouca idade.

(37) Não tendo sido usado cimento ARI ou processo que acelere o endurecimento, a retirada das formas e do escoramento não deverá dar-se antes dos seguintes prazos:

- **faces laterais: 3 dias**

- **faces inferiores: (deixando-se pontaletes bem encunhados e convenientemente espaçados) 14 dias**

- **faces inferiores: (sem pontaletes) 21 dias**

(38) A retirada do escoramento deverá ser realizada sem choques e obedecer a um programa elaborado de acordo com o tipo de estrutura.

Informações complementares:

Importância da Cura do Concreto: (Ver ainda Grau de Hidratação – pág.)

A retração sofrida pelo concreto varia com:

a) Umidade do ambiente (inversamente); isto é, quanto menor a umidade relativa do ar, maior será a tendência de retração.

b) Tipo de cimento: CP III $\rightarrow$ CP II $\rightarrow$ CP V (ARI) (Crescente)

c) Relação A/C $> \Rightarrow$ retração $>$ (diretamente)

d) Quantidade de cimento /m³ de concreto (diretamente)

Processos de Cura:

Numa obra, a cura poderá ser realizada pelos seguintes processos:

- a) Irrigação periódica das superfícies;
- b) Recobrimento das superfícies com areia ou sacos de aniagem rompidos que serão mantidos sempre úmidos;
- c) Emprego de compostos impermeabilizantes de cura;
- d) Recobrimento das superfícies com papéis especiais impermeáveis (Sizalkraft) que, impedindo a evaporação, dispensam o uso de mais água;
- e) Aplicação superficial de cloreto de cálcio à razão de 800g/m². Usa-se em climas úmidos, o Produto absorve a água do ambiente e a retém.
- f) processos especiais de cura a vapor (resistências elétricas, em meio úmido, etc)

Teste ABESC: Concreto Dosado em Central

- 1) É permitido submeter a vibrações os corpos de prova de concreto durante o período de armazenamento.
()V ()F
- 2) As fissuras no concreto causadas pela retração plástica podem ser prevenidas protegendo-se a estrutura do vento e realizando uma cura adequada.
()V ()F
- 3) Segundo as normas brasileiras, concretos de f_{ck} acima de 25MPa devem ser dosados em massa.
()V ()F
- 4) Em uma mistura de concreto, a finura do agregado miúdo não interfere na água de amassamento.
()V ()F
- 5) Somente pigmentos orgânicos devem ser utilizados para execução de concretos coloridos, pois resistem à alcalinidade do cimento, à exposição de raios solares e às intempéries.
()V ()F
- 6) Devido à curta duração do concreto no estado fresco e avanços nos processos de lançamento (bombeamento, projeção, etc); um planejamento de todas as operações denominado plano de concretagem é de fundamental importância para a qualidade e produtividade dos serviços de concretagem.
()V ()F
- 7) O concreto é denominado convencional quando atinge resistência inferior a 20MPa.
()V ()F
- 8) No recebimento de concreto dosado em central deve-se retirar uma amostra para moldagem de corpos de prova após o descarregamento de pelo menos 15% do volume do caminhão e antes do descarregamento de 85% do volume total.
()V ()F
- 9) O controle tecnológico dos materiais componentes do concreto exigido por norma, é mais rigoroso quando se trata de concreto dosado em central.
()V ()F
- 10) O ar aprisionado durante o processo de mistura do concreto diminui sua resistência, daí a necessidade de uma adequada compactação (vibração) para extraí-lo.
()V ()F
- 11) A dosagem, em massa, ou seja, pesando-se os materiais, permite a execução de concretos de maior resistência característica.
()V ()F
- 12) Os aditivos são substâncias adicionadas ao concreto para correção de efeitos indesejáveis de uma dosagem inadequada.
()V ()F
- 13) É recomendável a utilização de uma bomba de concreto para lançar concretos de consistência seca.
()V ()F
- 14) A retirada de amostra para o controle tecnológico de concreto se efetua na descarga da bomba.
()V ()F

15) As fissuras superficiais no concreto, aparecem devido à perda rápida da umidade causada por:

- a) temperatura elevada
- b) ventos fortes
- c) baixa umidade ambiental
- d) todas as anteriores
- e) nenhuma das anteriores

16) No pedido do concreto especifique:

- a) f_{ck} e consumo do cimento
- b) traço, slump. Dimensão da brita
- c) f_{ck} , consumo ou traço
- d) f_{ck} ou consumo além do slump e dimensão do agregado ou somente o traço
- e) nenhuma das respostas

17) Os aditivos plastificantes e superplastificantes, respectivamente, permitem uma redução mínima da água de amassamento do concreto, de:

- a) 58% - 80%
- b) 6% - 12%
- c) 30% - 50%
- d) 40% - 60%
- e) nenhuma das anteriores

18) Qual valor de abatimento pertence ao concreto auto-adensável?

- a) $25 \pm 1,0\text{cm}$
- b) $30 \pm 2,0\text{cm}$
- c) $10 \pm 2,0\text{cm}$
- d) $18 \pm 0,5\text{cm}$
- e) $20 \pm 2,0\text{cm}$

19) Quanto ao tempo de operação das concreteiras:

- a) concretos bombeáveis são mais indicados
- b) o concreto deve ser aplicado antes da pega
- c) os 150 min previstos em norma são apenas indicativos
- d) aditivos retardadores permitem a aplicação após a pega
- e) b e c estão corretas.

20) A cura do concreto tem por finalidade:

- a) evitar o endurecimento precoce do concreto
- b) hidratar o cimento
- c) manter o concreto saturado
- d) aumentar a resistência
- e) nenhuma das anteriores

21) Adição de água acima do especificado na dosagem do concreto acarreta:

- a) perda de resistência
- b) aumento da resistência
- c) diminuição do abatimento
- d) redução do fator água/cimento
- e) nenhuma das anteriores

22) O vibrador de imersão é usado para:

- a) adensar o concreto
- b) espalhar o concreto
- c) vibrar a ferragem
- d) aumentar a resistência do concreto
- e) nenhuma das anteriores

23) A relação entre a carga suportada por um corpo de prova cilíndrico e sua seção transversal determina sua resistência à:

- a) abrasão
- b) flexão
- c) compressão
- d) torção
- e) nenhuma das anteriores

24) Em concretos para pavimentos especifica-se a:

- a) resistência à compressão
- b) resistência à torção
- c) resistência à tração na flexão
- d) resistência ao cisalhamento
- e) nenhuma das anteriores

25) o excesso de vibração no concreto resulta em:

- a) maior resistência à compressão devida a maior compactação
- b) segregação do agregado graúdo
- c) não altera as propriedades do concreto
- d) todas as anteriores
- e) nenhuma das anteriores

26) A migração de parte da água de amassamento para a superfície do concreto é definida como:

- a) percolação
- b) separação
- c) segregação
- d) infiltração
- e) exsudação

27) As condições de moldagem de corpos de prova cilíndricos de dimensões base (D) igual a 15, são:

- a) 4 camadas de 30 golpes
- b) 3 camadas de 25 golpes
- c) 3 camadas de 30 golpes
- d) 4 camadas de 25 golpes
- e) nenhuma das anteriores

28) o número de camadas e golpes necessários para execução do “slump-test” são:

- a) 4 camadas de 30 golpes
- b) 3 camadas de 25 golpes
- c) 3 camadas de 30 golpes
- d) 4 camadas de 25 golpes
- e) nenhuma das anteriores

29) Para retardar o tempo de pega do concreto utiliza-se o aditivo:

- a) impermeabilizante
- b) cloreto de cálcio
- c) incorporador de ar
- d) expansor
- e) nenhuma das anteriores

30) É permitida a aplicação do concreto:

- a) após a hidratação do cimento
- b) após o fim da pega
- c) cinco horas após a mistura
- d) após o início da pega
- e) nenhuma das anteriores

CONTROLE TECNOLÓGICO DO CONCRETO

Visa a apresentação de Métodos Correntes empregados para a verificação e o ajuste das características do concreto de maneira a permitir, na execução, o cumprimento das especificações impostas pelo projeto.

O trabalho engloba as seguintes operações:

- 1. Verificação da dosagem utilizada pelo executor da obra;**
- 2. Estudo de cada um dos componentes do concreto;** como sejam cimento, água, agregados miúdos, agregados graúdos e aditivos.
- 3. Determinação da resistência à compressão simples;** (através da moldagem e rompimento de corpos de prova).
- 4. Verificação,** por ensaio não destrutivo ou por extração de corpos de prova, **da resistência do concreto na estrutura;**
- 5. Controle estatístico das resistências obtidas,** para ajuizar da homogeneidade do concreto e sugerir as necessárias adaptações do traço.

1 - Verificação da dosagem (traço)

- Medir os volumes e conferir os pesos, no momento da mistura;
- Verificar o consumo de cimento por reconstituição de traços
 - a) Do concreto fresco
 - b) Do concreto endurecido

Ensaio do concreto fresco

- Verificação da trabalhabilidade
 - Slump test - MB-256
- Verificação do teor de ar incorporado
 - Determinação do teor de ar pelo método pressométrico - MB-3310
 - Determinação da massa específica e do teor de ar pelo método gravimétrico - MB-2673



CONTROLE DE QUALIDADE:

1 - Tomada de conhecimento:

a) Do projeto com respeito a:
resistência aos esforços mecânicos específicos / dimensões das peças a serem concretadas /
densidade da armadura / características peculiares impostas pelo projeto arquitetônico

b) Das condições de exposição e da ação de agentes externos, tais como:
água do mar / atmosfera poluída por produtos químicos / presença de sulfatos, ácidos, açúcares, etc. /
intempéries / pressão hidrostática

c) Dos materiais disponíveis e de suas características

d) Dos equipamentos disponíveis e da cura a ser empregada

e) Da mão de obra disponível

2. Fornecimento das dosagens que atendam às condições anteriores:

3. Acompanhamento da Obra:

3.1 - Verificação periódica:

dos materiais empregados / do estado e comportamento do equipamento de preparo, transporte e
adensamento / dos métodos de cura

3.2 - Realização de ensaios e documentação necessária:

Controle da resistência obtida / Interpretação do f_{ck} estimado / eventuais ajustes operacionais /
esclarecimento de dúvidas / instruções para reparos no concreto, etc. / relatórios / histórico de
obra, etc

4. Água para emprego no concreto

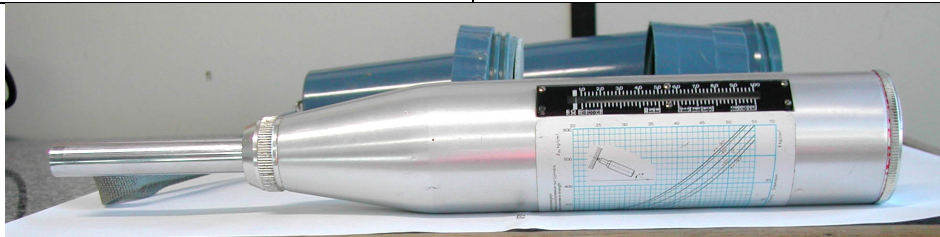
Na dúvida, ensaios comparativos. Considera-se aceitável quando a redução da resistência não
ultrapassa 10%.

O número de ensaios para os materiais componentes do concreto deve ser previsto pelo
Engenheiro Fiscal ou Preposto. E pode seguir um esquema de acordo com a reposição dos materiais na
obra. Já o concreto e o aço devem ser ensaiados de acordo com planos de amostragem a serem definidos
em normas específicas de controle, como as NBR12.655, sobre o concreto e a NBR7.480 para o aço.

.....

Ensaio não destrutivo:

a) esclerômetros de reflexão (Schmidt)	
medida do recuo após choque com o concreto (média de 9 impactos por ensaio, distantes, pelo menos, 2cm um do outro, em área de aprox. 10cm x 10 cm, superfície esmerilhada). O esclerômetro pode também ser utilizado para se escolher a peça de menor resistência de um lote defeituoso, de onde será extraído um corpo de prova para definição da resistência efetiva do lote em questão.	



b) extração de corpos de prova da própria estrutura.

c) aparelhos de ultra-som: (medem a velocidade de propagação do ultra-som no concreto - a resistência cresce com a velocidade).

Classificação de Leslie e Cheesman:

Velocidade de propagação (m/s)	Condições do concreto
Superior a 4500	Excelente
3500 a 4500	Bom
3000 a 3500	Regular (duvidoso)
2000 a 3000	Geralmente ruim
Inferior a 2000	Ruim

Métodos sônicos

- Mede-se
 - Velocidade de propagação - propagação de ondas

$v = \sqrt{\frac{E_c}{d}}$	• E_c = módulo de deformação • d = densidade
----------------------------	---

NORMA BRASILEIRA NBR 12.655/2006

“Concreto de cimento Portland - preparo, controle e recebimento - Procedimento”

Segue abaixo apenas um **resumo** explicativo desta norma. (O seu texto completo está disposto como **anexo A** desta Apostila).

1 Objetivo

Esta Norma especifica requisitos para:

- a) propriedades do concreto fresco e endurecido e suas verificações;
- b) composição, preparo e controle do concreto;
- c) recebimento do concreto

Esta Norma se aplica a concretos normais, pesados e leves.

Esta Norma não se aplica a concreto-massa, concretos aerados, espumosos e com estrutura aberta.

Exigências adicionais podem ser necessárias para:

- a) estruturas especiais;
- b) uso de outros materiais (como fibras)
- c) tecnologias especiais (processos inovadores)
- d) concreto leve;
- e) concreto projetado.

2 Referências normativas

As normas relacionadas (ver anexo A) contêm disposições que, ao serem citadas no texto, constituem prescrições para esta norma. Valem as normas em vigor (ver site da ABNT).

3 Definições

3.1 Definições de termos técnicos (ver texto no anexo A)

Concreto de cimento portland, concreto fresco, concreto endurecido, concreto preparado pelo executante da obra, elemento pré-moldado de concreto, concreto normal, concreto leve, concreto pesado, concreto de alta resistência, concreto dosado em central, concreto prescrito, família de concreto, metro cúbico de concreto, caminhão-betoneira, equipamento dotado de agitação, equipamento não dotado de agitação, betonada, aditivo, agregado, agregado leve, agregado denso ou pesado, cimento portland, conteúdo efetivo de água, relação água/cimento, resistência característica à compressão do concreto (f_{ck}), resistência média à compressão do concreto (f_{cmj}), ar incorporado, ar aprisionado, traço ou composição, estudo de dosagem, dosagem; proporcionamento, etapas de preparo do concreto (caracterização dos materiais componentes, estudo de dosagem, ajuste e comprovação do traço, elaboração do concreto, empresa de serviços de concretagem, central de concreto, lote de concreto, amostra de concreto, exemplar).

3.2 Definições das responsabilidades

(aceitação do concreto fresco, aceitação definitiva do concreto, recebimento do concreto).

4 Atribuições de responsabilidades

O concreto para fins estruturais deve ter definidas todas as características e propriedades de maneira explícita, antes do início das operações de concretagem. O proprietário da obra e o responsável técnico por ele designado devem garantir o cumprimento desta Norma e manter documentação que comprove a qualidade do concreto conforme descrito em 4.4.

4.1 Modalidades de preparo do concreto

4.1.1 Concreto preparado pelo executante da obra (responsabilidades definidas em 4.3).

4.1.2 Concreto preparado por empresas de serviços de concretagem (inclui NBR 7212 e documentação).

4.1.3 Outras modalidades de preparo do concreto (caso do concreto prescrito).

4.2 Profissional responsável pelo projeto estrutural

Responsabilidades a serem explicitadas nos contratos e em todos os desenhos e memórias que descrevem o projeto tecnicamente, com remissão explícita para determinado desenho ou folha da memória:

- a) registro do f_{ck} do concreto (obrigatório em todos os desenhos e memórias que descrevem o projeto tecnicamente;
- b) especificação de f_{cj} para as etapas construtivas, como retirada de cimbramento, aplicação de protensão ou manuseio de pré-moldados;
- c) especificação quanto à durabilidade da estrutura e elementos pré-moldados, durante sua vida útil, inclusive da classe de agressividade adotada em projeto (tabelas 1 e 2);
- d) especificação dos requisitos correspondentes às propriedades especiais do concreto, tais como:
 - módulo de deformação mínimo na idade de desforma, movimentação de elementos pré-moldados ou aplicação da protensão;
 - outras propriedades necessárias à estabilidade e à durabilidade da estrutura.

4.3 Profissional responsável pela execução da obra

A este profissional cabem as seguintes responsabilidades:

- a) escolha da modalidade de preparo do concreto (ver 4.1);
- b) escolha do tipo de concreto e sua consistência (Slump), DMC do agregado e demais propriedades, de acordo com o projeto e com as condições de aplicação;
- c) escolha dos materiais a serem empregados;
- d) aceitação do concreto, definida em 3.2.1, 3.2.2 e 3.2.3;
- e) cuidados requeridos pelo processo construtivo e pela retirada do escoramento, levando em consideração as peculiaridades dos materiais (em particular do cimento) e as condições de temperatura ambiente;
- f) verificação do atendimento a todos os requisitos desta Norma.

4.4 Responsável pelo recebimento do concreto

Os responsáveis pelo recebimento do concreto são o proprietário da obra e o responsável técnico pela obra, por ele designado. A documentação comprobatória da qualidade (relatórios de ensaios, laudos e outros) deve estar disponível no canteiro de obra durante toda a execução e depois arquivada e preservada pelo prazo previsto na legislação vigente. Quando for o caso 4.1.2, a responsabilidade pela documentação passa a ser da concreteira na pessoa de seu RT.

RESISTÊNCIA DO CONCRETO
Quantificação dos Fatores que Influem na Resistência

Causas de variação	Efeito máximo no resultado
A – Materiais . Variabilidade da resistência do cimento . Variabilidade da quantidade total de água . Variabilidade dos agregados (princ. miúdos)	±12 % ±15 % ± 8 %
B - Mão-de-Obra . Variabilidade do tempo e proced. de mistura	-30 %
C – Equipamento . Ausência de aferição de balanças . Sobre e subcarregamentos, correias, etc.	-15 % -10 %
D - Procedimento de ensaio .coleta imprecisa . adensamento inadequado . cura (efeito considerado a 28 d ou mais) . remate inadequado dos topos: “idem” - ruptura (velocidade de carregamento)	-10 % -50 % ±10 % - 50 % para convexidade - 30 % para concavidade ±5 %

CONTROLE DA RESISTÊNCIA DO CONCRETO: (NBR 12.655/06)

- 1 - Amostragem Parcial
- 2 - Amostragem Total
- 3 - Casos excepcionais → Lotes com volume < 10 m³ de concreto

DIVISÃO DA ESTRUTURA EM LOTES: (TABELA 7 da Norma)

Limites superiores	Solicitação principal dos elementos da estrutura	
	Compressão e Flexo- Compressão	Flexão Simples
Volume de Concreto	50 m³	100 m³
Nº de Andares	1	1
Tempo de Concretagem	3 dias de concretagem ¹	
¹⁾ Este período deve estar compreendido no prazo total máximo de 7 dias, que inclui eventuais interrupções para tratamento de juntas.		

Amostragem: (ABNT NBR NM 33)

AMOSTRAGEM MÍNIMA POR LOTE:

Grupo I (fck ≤ 50 MPa) → 6 exemplares

Grupo II (fck ≥ 55 MPa) → 12 exemplares

Obs.: cada exemplar é constituído por 2 corpos de prova (o maior deles define a resistência do exemplar)

1 – Controle estatístico por AMOSTRAGEM PARCIAL:

a) Para $6 \leq n < 20 \rightarrow f_{ck_{est}} = 2 \frac{f_1 + f_2 + \dots + f_{m-1}}{m-1} - f_m$

$$f_1 \leq f_2 \leq \dots \leq f_{m-1} \leq \dots \leq f_m ; \quad m = n/2 \therefore n \text{ é número par}$$

$$\text{porém, } \psi_6 \cdot f_1 \leq f_{ck, est} \quad \psi_6 \rightarrow \text{Tabela 8 da Norma}$$

Tabela 8 - Valores de ψ_6 em função do número de exemplares e da condição

Condição de preparo	Número de exemplares (n)										
	2	3	4	5	6	7	8	10	12	14	≥ 16
A	0,82	0,86	0,89	0,91	0,92	0,94	0,95	0,97	0,99	1,00	1,02
B e C	0,75	0,80	0,84	0,87	0,89	0,91	0,93	0,96	0,98	1,00	1,02

b) Para $n \geq 20 \rightarrow f_{ck, est} = f_{cm} - 1,65 S_d$

onde,

f_{cm} = resistência média e

S_d é o desvio-padrão da amostra de n elementos, calculado com um grau de liberdade a menos[($n-1$) no denominador da fórmula], em megapascals.

2 - AMOSTRAGEM TOTAL (100%): (exemplares de cada amassada)

1 $\rightarrow n \leq 20 \rightarrow f_{ck, est} = f_1$

2 $\rightarrow n > 20 \rightarrow f_{ck, est} = f_i$,

onde $i = 0,05n$. Quando o valor de i for fracionário, adota-se o número inteiro imediatamente superior.

3 - CASOS EXCEPCIONAIS: $V < 10 \text{ m}^3$ de Concreto

Para $V < 10 \text{ m}^3$ e $2 < n < 5$, pode-se adotar $f_{ck, est} = \psi_6 \cdot f_1$ (Tabela 8)

4 - Aceitação ou rejeição dos lotes de concreto

$$f_{ck, est} \geq f_{ck}$$

Condições A, B e C da Norma NBR 12655/06:

Condição A: Aplicável às classes C10 até C80. O cimento e os agregados são medidos em massa. A água de amassamento é medida em massa ou volume com dispositivo dosador e corrigida em função da umidade dos agregados; **Desvio-padrão $S_d = 4,0 \text{ MPa}$**

Condição B: Aplicável às classes C10 até C25: o cimento é medido em massa e os agregados em volume. A água é medida em volume mediante dispositivo dosador. A umidade do agregado é determinada pelo menos tres vezes durante o serviço do mesmo turno de concretagem. O volume do agregado miúdo é corrigido mediante curva de inchamento estabelecida especificamente para a areia utilizada. O volume da água de amassamento é corrigido em função da medição da umidade dos agregados. **Desvio-padrão $S_d = 5,5 \text{ MPa}$**

Condição C: Aplicável apenas aos concretos da classe C10 e C15. O cimento é medido em massa e os agregados em volume. A água é medida em volume e a sua quantidade é corrigida em função da estimativa da umidade dos agregados e da determinação da consistência do concreto (Slump Test – ABNT NBR NM 67). Nesta condição, e enquanto não se conhece o desvio-padrão, exige-se para os concretos de classe C15, o consumo mínimo de 350kg de cimento por metro cúbico. **Desvio-padrão Sd = 7,0 MPa**

Exemplo:

Calcular $f_{ck_{est}}$ para um lote com a seguinte distribuição de resultados em amostragem parcial, concreto condição B, (Valores em MPa):

<u>P1</u>	<u>P2</u>	<u>P3</u>	<u>P4</u>	<u>P5</u>	<u>P6</u>	<u>P7</u>	<u>P8</u>	<u>P9</u>	<u>P10</u>	<u>P11</u>	<u>P12</u>	<u>P13</u>
14.0	13.6	16.0	14.5	12.8	14.2	15.0	15.2	16.2	14.4	14.6	15.4	16.5
13.5	12.8	15.4	14.8	13.0	13.8	13.2	13.7	17.0	13.8	12.9	15.2	16.6

Solução :

De cada exemplar, ou seja, de cada par de valores, escolhe-se o maior:

14.0 13.6 16.0 14.8 13.0 14.2 15.0 15.2 16.6 14.4 14.6 15.4 17.0

Colocando em ordem crescente:

13.0 13,6 14.0 14.2 14.4 14.6 14.8 15.0 15.2 15.4 16.0 16.6 **17.0***
 f1 f2 f3 f4 f5 f6

O 17.0* será abandonado (trabalha-se com nº par de exemplares, pois m é nº inteiro)

$n = 12 \therefore m = 6$

$$f_{ck_{est}} = 2 \cdot \frac{f_1 + f_2 + \dots + f_{m-1} - f_m}{m - 1} = 2 \cdot \frac{13.0 + 13.6 + 14.0 + 14.2 + 14.4 - 14.6}{5}$$

$$f_{ck_{est}} = \boxed{27.68 - 14.6 = 13.08 \text{ MPa}}$$

verificação: $\psi_6 f_1 = 0,98 \times 13 = 12.74 \text{ MPa}$

entre 12.74 e 13.08; adotar o maior, que é $\boxed{13.08 \text{ MPa}}$

Obs.: 1) O valor a ser adotado é sempre o **maior** entre os dois calculados.

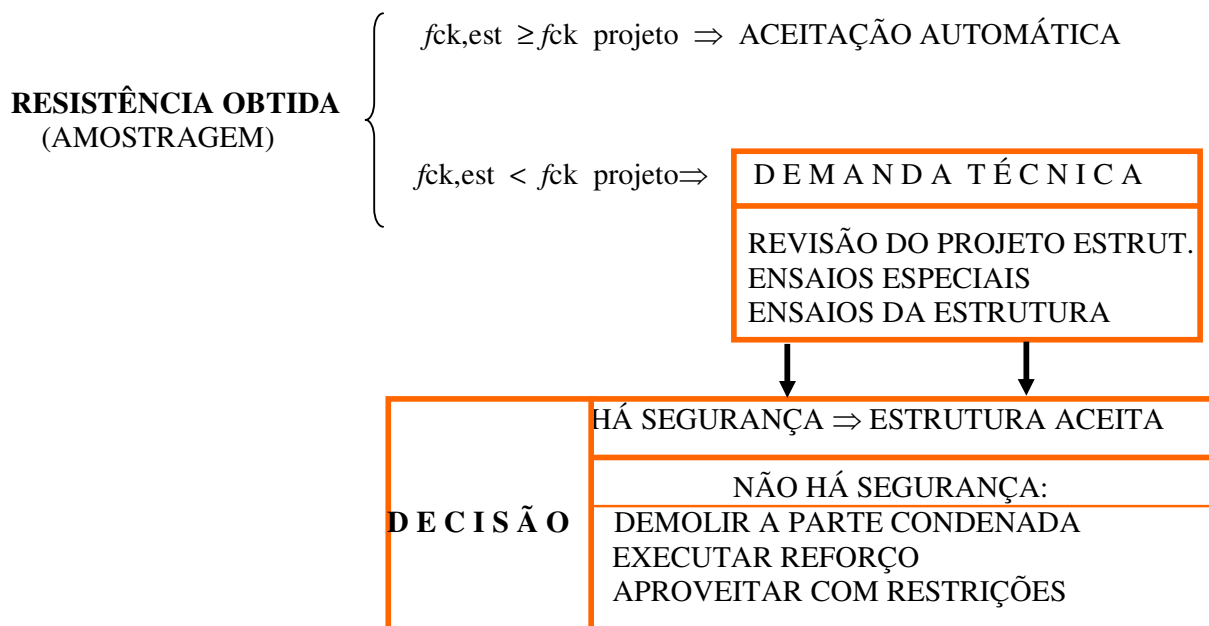
2) Nesse caso, **o lote em questão só seria aprovado se o seu f_{ck} fosse < 13,08**

ACEITAÇÃO OU REJEIÇÃO DA ESTRUTURA: (NBR 6118)

Aceitação Automática: “Satisfeitas as condições de projeto e de execução desta Norma, a estrutura será automaticamente aceita, se:

$$f_{ck_{est}} \geq f_{ck \text{ do projeto}}$$

ACEITAÇÃO OU REJEIÇÃO DA ESTRUTURA – NBR 6118



Decisão a adotar quando não há aceitação automática:

Quando não houver aceitação automática na forma do item anterior, a decisão basear-se-á em uma ou mais das seguintes verificações:

Revisão do Projeto:

O projeto da estrutura será revisto adotando-se para o lote de concreto em exame o valor adotado como $f_{ck_{est}}$. Caso as deformações previstas atendam às Normas, o projetista poderá conceder laudo aprovando a estrutura.

Ensaio Especial do Concreto:

Com as devidas precauções quanto à interpretação dos resultados e como medida auxiliar de verificação de homogeneidade do concreto da estrutura, poderão ser efetuados **ensaios não destrutivos** de dureza superficial, de medida da velocidade de propagação do ultra-som, ou por extração de corpos de prova da própria estrutura, de acordo com métodos estudados e aprovados por laboratório nacional idôneo.

Ensaio da Estrutura: (prova de carga)

Investigação das condições de resistência do concreto e da estrutura através da medição de cargas e deformações. Durante a realização do ensaio deverão ser medidas grandezas que revelem o comportamento da estrutura.

Decisão:

Se, das mencionadas verificações concluir-se que as condições de segurança desta Norma são satisfeitas, a estrutura será aceita.

Em caso contrário, tomar-se-á uma das seguintes decisões:

- A parte condenada da estrutura será demolida;
- A estrutura será reforçada;
- A estrutura será aproveitada, mas com restrições quanto ao carregamento ou seu uso.

Obs.: Um detalhe que deve ser sempre lembrado é que, no caso de obras contratadas com base nas Normas Técnicas, se $f_{ck_{est}}$, calculado através das fórmulas acima, não for suficiente para aprovar de forma automática a estrutura, o construtor fatalmente sofrerá grandes despesas adicionais.

Avaliação das Operações de Ensaio e Controle

1 - As operações de ensaio podem aumentar a variabilidade dos resultados do concreto, o que aumenta o desvio-padrão, e exige que seja adotada uma elevação da resistência média de dosagem, com o conseqüente aumento de custo;

2 - O desvio-padrão de **todo o processo** de produção e ensaio, mais conhecido por desvio-padrão do concreto, S_c , é resultado da soma:

$$S_c^2 = S_{c,ef}^2 + S_e^2$$

Onde:

S_c = desvio-padrão decorrente do processo de produção e ensaio do concreto em MPa
(geralmente adota-se $S_c = S_d$);

$S_{c,ef}$ = desvio-padrão efetivo ou real do processo de produção do concreto em MPa;

S_e = desvio-padrão das operações de ensaio em MPa.

sendo $V_e = S_e/f_{cm} \times 100$ definido como coeficiente de variação das operações de ensaio, em porcentagem.

O American Concrete Institute, através do ACI-214, recomenda um critério de avaliação da uniformidade e eficiência das operações de ensaio e controle; trata-se de calcular o coeficiente de variação dessas operações e efetuar comparação com valores padrão adotados pelo próprio ACI-214, conforme abaixo:

Operação de ensaio	Coeficiente de variação das operações de ensaio, V_e			
	Excelentes	Eficientes	Razoáveis	Deficientes
Controle de campo	< 3%	3 a 4%	4 a 5%	> 5%
Misturas experimentais em laboratório	< 2%	2 a 3%	3 a 4%	> 4%

Cálculo do desvio-padrão das operações de ensaio e controle:

$$S_e = \frac{\sum_{i=1}^n A_i}{n \cdot d_2} \quad (\text{MPa})$$

onde:

A = amplitude (diferença entre o maior e o menor resultado de corpos-de-prova que representam um mesmo exemplar ($x_{\max} - x_{\min}$));

n = número de exemplares considerados, compostos de p corpos-de-prova cada; e

d_2 = coeficiente que depende do número p de corpos-de-prova representativos de um mesmo exemplar, conforme mostra a tabela abaixo:

Número p de Corpos de prova	d_2
2	1,128
3	1,693
4	2,059
5	2,326
6	2,534
7	2,704
8	2,847
9	2,970
10	3,078

Figura - Coeficientes para cálculo do desvio-padrão dentro do ensaio

Exemplo:

No controle da resistência do concreto para a obra do Centro de Convenções da UFOP um lote apresentou os seguintes resultados, em MPa:

Exemplares	01	02	03	04	05	06	07	08	09	10	11	12
Resultados	25,2	28,1	24,3	27,2	22,9	23,3	24,0	22,1	22,7	20,8	23,1	24,2
	25,1	28,9	24,1	26,7	22,1	23,7	25,1	21,4	22,5	20,7	23,2	23,8
Amplitude	0,1	0,8	0,2	0,5	0,8	0,4	1,1	0,7	0,2	0,1	0,1	0,4

Valores Calculados para a Distribuição:

- Média Geral: 23,96 MPa
- fck, est. = 21,2 MPa
- Desvio-padrão = 2,133 MPa

$$S_e = \frac{\sum_{i=1}^n A_i}{nd_2} = \frac{0,1+0,8+0,2+0,5+0,8+0,4+1,1+0,7+0,2+0,1+0,1+0,4}{12 \times 1,128} = \frac{5,4}{13,54} = 0,399$$

$$\therefore V_e = \frac{S_e \times 100}{f_{cm}} = \frac{39,9}{23,96} = 1,66\%$$

Pela Tabela do ACI-214, acima, o coeficiente $V_e = 1,66\%$, sendo $< 3\%$, é considerado excelente

Obs.: O coeficiente de variação da resistência que é a relação entre o desvio-padrão obtido na distribuição e a resistência média dos 12 exemplares fica em 7,8%, que atinge uma classificação de excelente, conforme Helene, Petrucci e outros autores.

RECONSTITUIÇÃO DE TRAÇOS

I - CONCRETO FRESCO

Pesagens Necessárias :	Exemplo
Peso da amostra ao ar	12,50 kg = P_t
Peso da amostra imersa	7,37 kg = P_{ti}
Peso da areia imersa	2,00 kg = P_{ai}
Peso da brita imersa	4,15 kg = P_{pi}

Calcular :

- Peso do cimento imerso (P_{ci})
- Peso do cimento ao ar
- Peso da água de amassamento
 - Traço unitário desse concreto
 -

Dados :

$$\begin{aligned} \gamma_c &= 3,15 \text{ kg/dm}^3 \\ \gamma_a &= 2,65 \text{ " " } \\ \gamma_p &= 2,70 \text{ " " } \end{aligned}$$

Solução:

$$\gamma = \frac{P_{ar}}{P_{ar} - P_i} \Rightarrow \gamma P_{ar} - \gamma P_i = P_{ar}$$

$$(\gamma - 1) P_{ar} = \gamma P_i \Rightarrow P_{ar} = \frac{\gamma}{\gamma - 1} P$$

Peso do cimento imerso $\rightarrow P_{ci} = P_{ti} - P_{ai} - P_{pi}$

$$P_{ci} = 7,37 - 2,00 - 4,15 = 1,22 \text{ (kg)}$$

Peso do cimento ao ar :

Traço em peso

$$P_c = \frac{\gamma_c}{\gamma_c - 1} P_{ci} = \frac{3,15}{3,15 - 1} \times 1,22 = 1,79 \text{ (kg)} \rightarrow 1$$

$$\text{Peso da areia ao ar: } P_a = \frac{2,65}{2,65 - 1} \times 2,00 = 3,21 \text{ (kg)} \rightarrow 1,79$$

$$\text{Peso da brita ao ar: } P_p = \frac{2,70}{2,70 - 1} \times 4,15 = 6,59 \text{ (kg)} \rightarrow 3,68$$

$$\begin{aligned} \text{Peso da água} &= P_t - P_c - P_a - P_p = \\ &12,50 - 1,79 - 3,21 - 6,59 = 0,91 \rightarrow 0,51 \end{aligned}$$

II - CONCRETO ENDURECIDO (Cálculo aproximado)

Concreto 1

Atacado por ácido clorídrico, um concreto de agregado não calcário, apresentou 83% de resíduo insolúvel. Qual será o traço do mesmo?

$$\%Cim = (100 - \text{resíduo insolúvel})\% = (100 - 83)\% = 17\%$$

$$\%Cim = \frac{1}{1 + m} \times 100 = 17\% \Rightarrow m = \frac{100}{17} - 1 = 4,88$$

Concreto 2

Outro concreto, também de agregado não calcário, apresentou um teor total em CaO de 11,5%. Qual será o traço se o cimento possui 65% desse óxido?



$$65\% \text{ de } 1 = 11,5\% \text{ de } (1 + m) \quad \therefore \quad m = \frac{65}{11,5} - 1 = 4,65$$

Cálculo da Relação A/C

A amostra do concreto 1 saturada de água pesou 12.150g. Dessecado em forno a 600°C, pesou 11.500g. Qual será a relação A/C?

O traço do concreto 1 é : 1 : 4,88 : x

No concreto dessecado, tem-se: 1 : 4,88 : 0,23

multiplicando-se por P_c e somando, dá:

$$P_c + 4,88 P_c + 0,23 P_c = 11.500 \Rightarrow \boxed{P_c = 1.882,16g}$$

Água para saturação = 12.500 - 11.500 - V_v

$$\text{mas, } V_v = 2\% \text{ de } 5,3 \text{ dm}^3 = 106g$$

$$\therefore \text{Água para saturação} = 12.500 - 11.500 - 106 = 544g$$

$$\text{Relação } A/C = \frac{0,23P_c + 544}{P_c} = \frac{976,90}{1.882,16} = 0,519$$

ARGAMASSAS

- 1 - Conceituação
- 2 - Qualificação das Argamassas
- 3 - Classificação
- 4 - Argamassas de cimento
- 5 - Argamassas de cal
- 6 - Argamassas mistas
- 7 - Argamassas de gesso
- 8 - Traços usuais das argamassas
- 9 - Patologia das argamassas de revestimento
- 10 - Consumo de materiais nas argamassas

1 - Conceituação:

Mistura de aglomerantes e agregados minerais com água possuindo capacidade de endurecimento e aderência.

Emprego das argamassas em construção:

Nas alvenarias - Assentamento de pedras, tijolos, blocos onde favorecem a distribuição dos esforços.

Nos acabamentos - Emboço, reboco, tetos e pisos.

Nos reparos de obras de concreto - injeções, etc. (nesses casos, usar aditivo expansor nas argamassas).

2 - Qualificação das Argamassas:

Condições a que se deve satisfazer uma boa argamassa:

- a - Resistência Mecânica
- b - Compacidade
- c - Impermeabilidade
- d - Aderência
- e - Constância de volume
- f - Durabilidade

A maior ou menor importância de uma dessas condições depende da finalidade da argamassa. Estas propriedades estão na dependência de fatores diversos:

- Qualidade e quantidade de aglomerantes;
- Qualidade e quantidade do agregado;
- Quantidade de água
- Uso de aditivo adequado

3 - Classificação das Argamassas:

3.1 - Segundo o tipo de aglomerantes

- a - Aéreas simples - de cal aérea ou gesso
- b - Hidráulicas simples - de cal hidráulica ou cimento.
- c - Mistas ou compostas - de cal aérea e cimento.

Obs.: as mais importantes estão grifadas; as de gesso são usadas exclusivamente em decoração e as de cal hidráulica não são empregadas.

3.2 - Segundo a dosagem:

- a - Pobres ou Magras - quando o volume de pasta é insuficiente para preencher os vazios entre os grãos do agregado.
- b - Cheias - quando os vazios acima referidos são preenchidos exatamente pela pasta de aglomerantes.
- c - Ricas ou Gordas - quando há excesso de pasta.

3.3 - Segundo a consistência:

a - Secas / b - Plásticas / c - Fluidas.

Obs.: A escolha de um determinado tipo de argamassa está condicionada às exigências da obra (resistência mecânica, impermeabilidade, porosidade, etc.)

4 - Argamassas de Cimento:

As argamassas de cimento constituem a base de funcionamento de quase todos os materiais mais comumente usados na construção civil. Cada uma tem sua aplicação determinada tanto no que toca à sua resistência como também de material de união para específicas aplicações. Essas argamassas de cimento são chamadas de argamassas hidráulicas porque se diferenciam bastante das aéreas, pois fazem pega e endurecem debaixo d'água. Também são caracterizadas por sua alta resistência mecânica e impermeabilidade, resistência ao desgaste, etc.

Para as argamassas de cimento também é válida a Lei de Abrams:

“A resistência mecânica varia na razão inversa da relação A/C, para material plenamente adensado e dentro dos limites práticos de aplicação”.

Para a previsão da resistência, pode ser usada a fórmula de Bolomey:

$$R = A. (1/x + 0,5) \quad \text{onde,}$$

R = resistência à compressão em corpos de prova cilíndricos, em MPa;

A é um valor característico do aglomerante; para o cimento portland aos 28 dias de idade: A = 15 a 20

Traços usuais das argamassas de cimento portland

Variam de 1:1 até 1:7, desde grande impermeabilidade até chapisco em alvenaria.

Denominação	Classificação das argamassas de cimento	
	cimento por m³ de areia	traço em volume *
Argamassas magras	215 kg	≅ 1 : 7,4
Argamassas normais	325 kg	≅ 1 : 5,0
Argamassas gordas	425 kg	≅ 1 : 3,7

Obs.: * varia com a granulometria da areia empregada.

A permeabilidade é reduzida com maior dosagem de cimento.

5 - Argamassas de Cal:

Os traços da argamassa de cal variam de 1:1 a 1:4. A cal, se misturada com a areia e água, produz uma concentração de volume que se admite: 1 volume de cal extinta mais 2 volumes de areia perfazem um total de 2,4 volumes de argamassa.

A cal que se destina a revestimento deve ser mantida em repouso dentro d'água pelo menos durante 6 dias. Se de boa fabricação e extinta na usina, dois dias são suficientes para garantir extinção total.

A resistência da argamassa de cal é normalmente mais baixa do que a de cimento, podendo-se considerar os seguintes valores:

	traços:	<u>1:3</u>	<u>1:4</u> (MPa a 28dias)
Resistência média à compressão:		1,5	0,9
Resistência média à tração:		0,5	0,3

Obs.: As argamassas de cal não resistem bem à ação da água, por isso nos revestimentos externos deve-se empregar argamassas mistas, com cimento.

6 - Argamassas Mistas (Compostas):

Quando se desejam argamassas de cal mais resistentes e que possam fazer pega sob umidade, deve-se adicionar cimento resultando nas chamadas argamassas de cimento atenuadas, ou argamassas mistas. algumas misturas ordinárias são dadas abaixo: (traços em volume)

<u>Cimento</u>	<u>Cal</u>	<u>Areia</u>	<u>Água</u>	<u>Argamassa</u>	<u>Resistência à compressão:*</u>
1	½	5	1,11 = 3,91 volumes		30,4 MPa
1	1	6	1,33 = 4,69	“	26,8 MPa
1	2	8	1,77 = 6,32	“	22,4 MPa
1	1 ½	10	1,93 = 7,13	“	21,8 MPa

* calculadas pela fórmula de Bolomey, e considerando A% = 15%.

7 - Argamassas de Gesso:

Estas argamassas, como as de cal, são argamassas aéreas. Comumente não se adiciona areia ao gesso de construção, ou gesso para reboco, pois a adição de areia produz uma argamassa muito magras de baixa resistência. Ordinariamente se tomam 8 partes de gesso por 5 partes de água, obtendo-se 6 partes (todas em volume) de pasta espessa.

A argamassa de gesso e cal se emprega ordinariamente na dosagem de um volume de gesso e 1/3 de argamassa de cal com areia fina. Este tipo de argamassa não chega a atingir a resistência da pasta de gesso puro. Para o revestimento de paredes e tetos se emprega o gesso lento e é adotado comumente as seguintes quantidades:

- 3 volumes de cal
- 1 volume de gesso
- 1 volume de areia

Para o gesso rápido ou gesso estucador, tem-se:

- 1 a 2 volumes de gesso
- 3 volumes de cal
- 1 volume de areia

8 - Traços Usuais das Argamassas:

Argamassas de cimento e areia:

<u>Traço em volume</u>	<u>Aplicação</u>
1:1	. Reboco (0,5 cm) impermeável de tanques. Obturação de fendas. Injeção e enchimento de cavidades.
1:2	.. Camada de fundo (1 a 1,5 cm) em reboques para impermeabilização de tanques, silos, etc. e recobrimento de armaduras.
1:3	.. Argamassas para pilares de tijolos e obras sanitárias. Capa de fundo (1,5 cm) de reboques impermeáveis. Arcos, abóbadas. Camada de fundo em paredes expostas a chuvas frequentes. Cimento liso.
1:4	.. Contrapisos, cimento alisado, chapisco, etc.
1:5	.. Para assentamento de tacos de madeira, tijolos em paredes de cutelo, blocos de cimento, cerâmica.
1:6	. Para assentar pedras de obra
1:7	. Chapisco em alvenaria.

Argamassas de cal, cimento e areia

- 1:5 .. de cal e areia, com 15% de cimento para paredes de 15 quando se usar tijolos de 6 ou 8 furos.
- 1:5 . de cal e areia, com 10% de cimento para paredes de 15 com tijolos comuns, paredes de 25 com tijolos de 6 ou 8 furos, para colocação de ajulejos ou litocerâmica.
- 1:5 . de cal e areia, com 7 % de cimento para paredes de 25 com tijolos comuns, emboço (reboco grosso) interno.
- 1:5 .. de cal e areia com 5% de cimento p/ reboco grosso externo
- 1:3 ... de cal e areia fina, com 10% de cimento em reboco fino.

9 - PATOLOGIA DAS ARGAMASSAS DE REVESTIMENTO

PATOLOGIA	Aspectos observados	CAUSAS PROVÁVEIS	REPAROS
EFLORESCÊNCIA	manchas de umidade. pó branco acumulado na superfície.	umidade constante. sais dissolvidos na base (alvenaria). sais dissolvidos na água. carbonatação de Ca(OH)_2	eliminar infiltração de umidade. Secagem. Escovamento da superfície. Reparo do revest. quando pulverulento
BOLOR	manchas esverdeadas ou escuras revestimento em desagregação	umidade constante área não exposta ao sol	eliminar infiltração de umidade lavagem com solução de hipoclorito reparo do revest. quando pulverulento
VESÍCULAS	empolamento da pintura na cor branca	existência de CaO na cal. presença de matéria orgânica ou piritas (concreções ferruginosas) na areia.	eliminar infiltração de umidade. renovar a camada de reboco
DESCOLAMENTO DO REBOCO COM EMPOLAMENTO	descolamento e formação de bolhas. som cavo sob percussão	infiltração de umidade extinção retardada da cal	eliminar infiltração de umidade. renovar o reboco e a pintura
DESCOLAMENTO EM PLACAS	som cavo sob percussão placa endurecida descolada	areia micácea (baixa aderência) base lisa / argamassa muito forte/ existência substâncias hidrófugas / ausência da camada de chapisco	renovar o revestimento/ apicoamento da base/ eliminação da base hidrófuga / aplicação do chapisco
ou ainda:	placa quebradiça, desagregando-se /	argamassa muito (fraca) / aplicação prematura de tinta impermeável	renovar o revestimento/ chapisco
DESCOLAMENTO COM PULVERULÊNCIA	descolamento da camada de tinta / som cavo sob percussão	excesso de finos/ traço pobre / não carbonatação da cal / camada de reboco muito espessa	renovar o reboco
FISSURAS HORIZONTAIS	estende-se por toda a parede e descolamento em placas / som cavo sob percussão	expansões: existência de CaO na argamassa de assentamento / ataque por-sulfatos / argilo--minerais expansivos no gregado	solução depende da intensidade da reação expansiva ou renovar o revestimento
FISSURAS MAPEADAS	generalizadas por toda a superfície	retração da argamassa de base	renovar o revestimento

10 - Consumo de Materiais nas Argamassas:

Uma forma recomendável para se calcular o consumo de materiais no m³ de argamassas é aquela apresentada nas dosagens de concreto. O consumo depende do traço unitário a ser adotado e da quantidade de água que dará uma argamassa plástica. Como é comum o uso de areias mais finas, pode-se considerar o teor de água A% como sendo de 15% ou 16% (no concreto, ≤ 10%). Consideremos a argamassa mista no traço ::1 : 2 : 8, citada anteriormente. Esse traço significa 1 volume de cimento, 2 volumes de cal hidratada em pó e 8 volumes de areia úmida.

Como já foi visto, as fórmulas que fornecem o consumo do principal aglomerante por m³ são:

$$C = \frac{\gamma_{\text{argamassa}}}{(1 + k + a + x)} \quad \text{ou} \quad C = \frac{1000}{\frac{1}{\gamma_c} + \frac{k}{\gamma_{\text{cal}}} + \frac{a}{\gamma_a} + x}$$

Onde, k, é a relação cal/cimento e $\gamma_c = 3,00$; $\gamma_{\text{cal}} = 2,00$ e $\gamma_a = 2,63 \text{ kg/dm}^3$.

[1 : k : a : x] é o traço em peso. Tem-se o traço em volume 1 : 2 : 8, mas as massas unitárias δ_{cim} , δ_{cal} , $\delta_a(\text{seca})$ são, respectiv.: 1,38 ; 0,60 e 1,40 kg/dm³ e o c.m.i.= 1,25.

Assim, 1:2:8: em volume corresponde a:

::1 x 1,38: 2x0,60: 8/1,25 x1,40: (em massa),

ou seja, **1,38 : 1,20 : 8,96** .

Dividindo por 1,38, tem-se:: **1 : 0,869 : 6,493** : (traço unitário em massa).

Cálculo da relação A/C:

$$x = A/100(1 + m) = 15/100(1 + 0,869 + 6,493) = 0,15(8,362) = 1,254$$

$$\text{O consumo será: } C = \frac{1000}{1/3,00 + 0,869/2,00 + 6,493/2,63 + 1,254} = 223 \text{ kg /m}^3$$

Consumos:

cimento : 223 kg por m³ de argamassa pronta e aplicada

cal : 223 x 0,869 = 194 kg idem, idem, idem.

areia úmida : 223 x 6,493 = 1448kg ou 1448/1,40 x 1,25 = 1293 dm³.

Obs.: o traço unitário em volume (1:2:8:1,73)dm³ rende 6,19dm³ de argamassa pronta e aplicada.

Exemplo 2: (Questão nº 3 do provão/98) :

Numa argamassa mista de cimento, cal e areia de traço ::1 : 2 : 9 em massa de materiais secos, com massa específica de 2020 kg/m³ e com 20 % de água/materiais secos, pede-se:

- o traço em volume da argamassa;
- o consumo de materiais por m³.

DADOS:

Massas unitárias dos materiais:

cimento: $\delta_c = 1100 \text{ kg/m}^3$; cal hidrat.: $\delta_{\text{cal}} = 750 \text{ kg/m}^3$; areia seca : $\delta_a = 1400 \text{ kg/m}^3$

Solução:

1 : 2 : 9 : x (em massa sea);

$\gamma_{\text{arg.}} = 2020 \text{ kg/m}^3$ e $A = 20\%$

∴ A rel. A/C será: $x = 20\% \text{ de } (1 + m) = 0,2 (1 + 2 + 9) = 2,4$

a) Obtenção do traço em volume:

Foi inicialmente adotado: 1 : 2 : 9 : 2,4 (kg, areia seca)

O volume de cada componente será: 1/1,1 : 2/0,75 : 9/1,4 : 2,4/1, ou seja:

$$0,90909 : 2,66667 : 6,42857 : 2,40 \text{ (dm}^3, \text{ seco)}$$

$$(\times 1,1) \Rightarrow 1 : 2,93333 : 7,07143 : 2,64 \text{ (dm}^3, \text{ seco)}$$

Para um inchamento de 25% na areia quando úmida, Ter-se-ia:

$$7,07143 \times 1,25 \cong 8,84$$

$$\text{O traço final em volume seria : } 1 : 2,93 : 8,84 : 2,64 \text{ (dm}^3, \text{ areia úmida)}$$

b) Consumos:

$$\gamma = \frac{Mt}{V} = \frac{C(1 + 2 + 9 + 2,4)}{1} = 2020 \quad \therefore \quad C = \frac{2020}{14,4} = 140,28 \text{ kg de cimento / m}^3$$

$$\text{cal: } 2 \times 140,28 = 280,56 \text{ kg}$$

$$\text{areia seca : } 9 \times 140,28 = 1262,52 \text{ kg ou } 1262,52 \times 1,25 / 1,4 = 1.127 \text{ dm}^3 \text{ úmida}$$

----- X X -----

Exemplo 3:

Calcular a quantidade de materiais a ser adquirida para cada m^3 da argamassa mista no traço 1: 4 de cal e areia úmida (Massa Branca), com 8% de cimento (traços em volume). O teor de água (em massa) será: $A'\% = 15\%$ p/ a Massa Branca e $A\% = 16\%$ para a argamassa mista.

Dados:

<u>Material</u>	<u>Massa específica</u>	<u>Massa Unitária</u>	
Cimento	3,00	1,38	kg/dm ³
areia (seca)	2,65	1,40	“ (c.m.i. de 1,25).
cal hidratada	2,00	0,60	“

Solução:

O procedimento normal de obra neste caso é o de preparar antecipadamente a argamassa de cal e areia (Massa Branca) e deixá-la sempre úmida, “curtindo”.

No momento da aplicação o servente mistura-a com o cimento nas proporções correspondentes ao traço adotado.

No presente caso, quer-se que o volume do cimento seja 8% do volume total.

$$\text{Assim, } V_{\text{cim}} = 0,08V_t \quad \therefore \quad V_t = 12,5 V_{\text{cim}}$$

$$V_t = V_{\text{MB}} + V_{\text{cim}} \Rightarrow V_{\text{MB}} = 11,5V_{\text{cim}}$$

Se for adotado o V_{cim} igual a 1 dm^3 , o volume V_{MB} deverá ser $= 11,5 \text{ dm}^3$.

O primeiro problema a ser resolvido será, então, calcular as quantidades de cal e de areia que serão necessários para se formar um volume de $11,5 \text{ dm}^3$ de Massa Branca.

11,5 dm³ de MB no traço 1:4:

$$1 : 4 \text{ (dm}^3) \Rightarrow [1 \times 0,6 : 4/1,25 \times 1,40] \text{ (kg)} \Rightarrow [0,6 : 4,48] \text{ (kg)}$$

$$\text{O traço unitário em massa será : } 1 : 7,47 : x' \text{ (kg)}$$

$$\text{Cálculo de } x': \Rightarrow x' = 0,15 (1 + 7,47) = 1,27$$

$$C_{\text{cal}} = \frac{11,5}{\frac{1}{2,00} + \frac{7,47}{2,65} + 1,27} = 2,506 \text{ kg de cal para } 11,5 \text{ dm}^3 \text{ de MB.}$$

O consumo de areia será $2,506 \times 7,47 = 18,72 \text{ kg}$

Formando agora a argamassa mista, teremos:

$$1 (\text{dm}^3) : 2,506 : 18,72 \Rightarrow 1 \times 1,38 : 2,506 : 18,72 (\text{kg})$$

dividindo por 1,38 $\Rightarrow 1 : 1,816 : 13,57 : x (\text{kg}) ;$

$$x = 0,16 (1 + 1,816 + 13,57) = 2,621$$

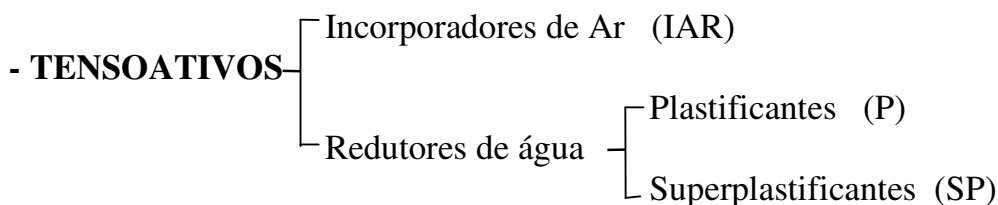
$$C = \frac{1000}{\frac{1}{3,00} + \frac{1,816}{2,00} + \frac{13,57}{2,65} + 2,621} = 111,3 \text{ kg de cimento / m}^3 \text{ de argamassa}$$

Consumos por m³:

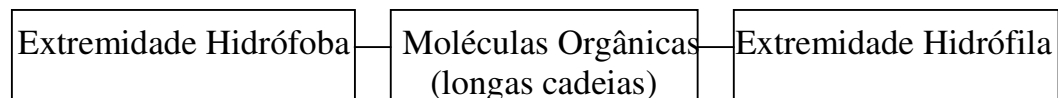
Cimento: 111,3 kg ; Cal: 202,2 kg ; areia: 1.511 kg = 1.349 dm³ ; água: 292 kg

$$\Sigma = 2116 \text{ kg /m}^3 = \gamma_{\text{argamassa}}$$

PRINCIPAIS ADITIVOS QUÍMICOS



TENSOATIVOS:



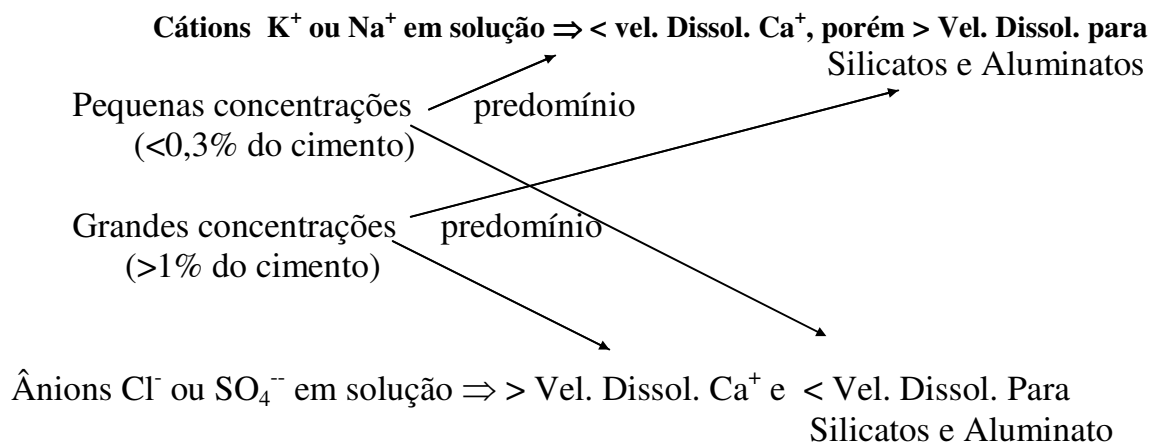
IAR - Cadeia de Hidrocarboneto **não polar** com grupo polar aniônico
 S e SP - Cadeia de Hidrocarboneto **polar** com grupo polar aniônico



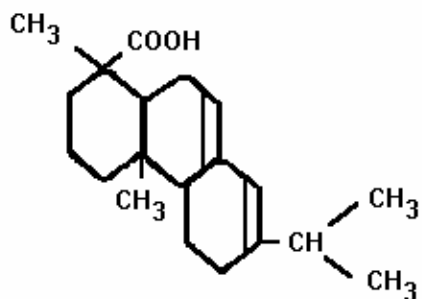
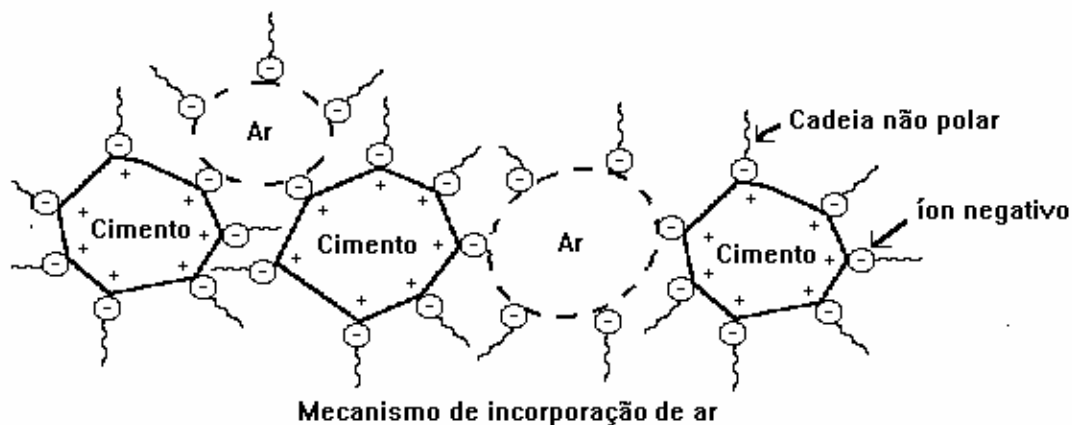
MODIFICADORES DA PEGA

ACELERADOR > Velocidade de dissolução para Ca^+ e íons Silicato

RETARDADOR < Velocidade de dissolução para Ca^+ e íons Aluminato



Tensoativos Incorporadores de Ar



Fórmula de um Tensoativo incorporador de ar

Mecanismo de incorporação de ar segundo F. M. Lea:

Na interface **ar-água**, grupos polares $\Rightarrow$ fase aquosa, gerando:

$\Downarrow$
 < tensão superficial,
 formação de bolhas de ar, e
 não coalescência (bolhas estáveis)

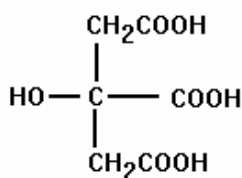
Na interface **sólido-água**, grupos polares $\Leftrightarrow$ sólido; grupos não polares $\Rightarrow$ água:

$\Downarrow$
 A superfície do cimento torna-se hidrófoba:

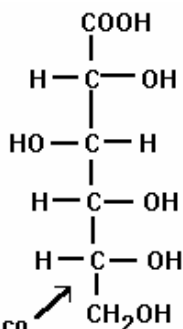
- Dosagem excessiva de aditivo pode retardar muito a hidratação do cimento
- A incorporação de ar, leva a queda de resistência
- As bolhas de ar funcionam como agregados finos, mas sem atrito
- Muito indicados para **concretos massa** e **concretos leves**

Tensoativos Redutores de Água

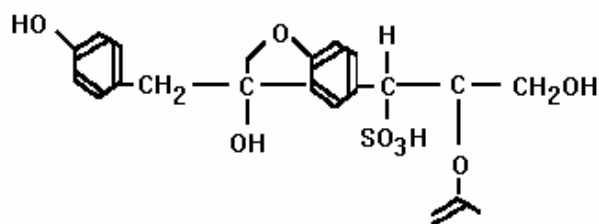
As fórmulas de três tensoativos plastificantes típicos estão mostradas abaixo:



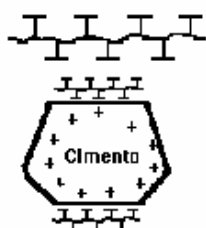
Ácido Cítrico



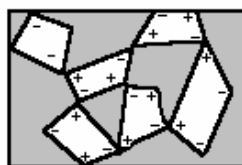
Ácido glucônico



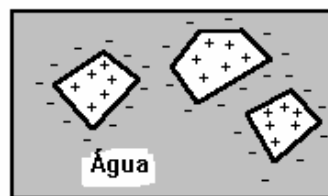
Unidade repetitiva de um polímero de lignossulfonato



Molécula com um grupo polar aniônico na cadeia do hidrocarboneto



Antes



Depois

Defloculação

mistura **água-cimento** sem a presença de tensoativos:



não se obtém um sistema bem disperso	
a água possui tensão superficial elevada (estrutura molecular com ligação tipo ponte de hidrogênio)	As partículas de cimento tendem a se aglomerar ou formar flocos (forças de atração por cargas + e – geradas na moagem)

Porém,

Quando um **tensoativo com uma cadeia hidrófila** é adicionado ao sistema água-cimento:



o tensoativo $\Rightarrow$ uma extremidade polar em direção à água



há $<$ tensão superficial, e a partícula de cimento torna-se **hidrófila**



Camadas de moléculas de água dipolares circundam as partículas hidrófilas de cimento,
evitam a floculação e um sistema com boa dispersão é obtido



Tem-se um aumento da trabalhabilidade com menor consumo de água.

Superplastificantes

São aditivos redutores de água de alta eficiência: Teor de água 20 a 25% menores (contra 5 a 10% dos plastificantes comuns).

Consistem de tensoativos aniônicos de cadeia longa, massa molecular elevada (20.000 a 30.000) com grande número de grupos polares na cadeia do hidrocarboneto.

Adsorvido pelas partículas de cimento, confere uma forte carga negativa que auxilia a:

- reduzir consideravelmente a tensão superficial da água circundante e
- aumentar acentuadamente a fluidez do sistema.

**EXEMPLOS DE RESISTÊNCIAS INICIAIS ELEVADAS CONSEGUIDAS COM
ADIÇÃO
DE ADITIVOS SUPERPLASTIFICANTES**

Séries de Consumo	Consumo de Cimento (kg/m ³)	Relação A/C	Abatimento (mm)	Resistência à compressão (MPa)			
				1 dia	3 dias	7 dias	28 dias
(A) Concreto de referência (sem aditivo)	360	0,60	225	10	21	32	45
(B) Concreto com a mesma consistência de (A), mas com 2% de superplastificante	360	0,45	225	20	35	43	55
(C) Concreto com a mesma relação água/cimento de (B), mas sem superplastificante e com < abatimento.	360	0,45	30	16	28	37	52

Observações:

- a) **Baixa exsudação e segregação dos concretos superplastificados, provavelmente explicadas pela dimensão coloidal das partículas de cadeia longa do aditivo que obstruíam os canais de fluxo de água de exsudação no concreto;**
- b) **Uma excelente dispersão das partículas de cimento na água parece acelerar a taxa de hidratação do cimento, e do endurecimento (B > C nas idades de 1, 3 e 7 dias, com a mesma rel. A/C);**
- c) **Os superplastificantes de última geração contêm freqüentemente lignossulfonatos, policondensado de formaldeído e melamina sulfonada, ou policondensado de formaldeído e naftaleno sulfonado que são substâncias retardantes de modo a compensar a perda rápida do elevado abatimento conseguido imediatamente após a adição do aditivo.**

ADITIVOS PARA CONCRETO (CONTINUAÇÃO)

A - FINALIDADE

B - MELHORAS CONSEGUIDAS (TÉCNICAS / ECONÔMICAS / ESTÉTICAS)

C - APLICAÇÕES RECOMENDADAS

D - IDENTIFICAÇÃO SIMPLIFICADA

PLASTIFICANTES

A - Melhorar a plasticidade (reduzir o atrito) de argamassas e concretos

B - Melhor compactação com redução de água $\Rightarrow$ > (resistência, trabalhabilidade), Durabilidade, (coesão) < (retração; consumo de cimento; custo).

C - Concreto bombeado; submerso; pré-fabricação; peças muito armadas; injeções (protendido ou fissuras).

D - Tensoativos: Ácido glucônico, cítrico; lignossulfonatos de Na, Ca, NH_4 , etc.

ACELERADORES

A - Ganhos de resistência em < tempo. (reduz custos de execução, porém...).

B - EFEITOS NEGATIVOS A LONGO PRAZO, como:

< durabilidade (podem conter álcalis que causam expansões a longo prazo) ou (íons cloreto que são corrosivos) < resistência final, > retração (>fissuração)

Obs.: alguns países da Europa já proíbem seu uso.

C - Tamponamentos de trincas; concretagens submersas; Recuper. de Estrut. nas zonas de marés, reparos rápidos e concretagem em tempo frio.

D - Cloretos de Cálcio, de sódio, potassa ou soda, etc.

RETARDADORES

A - Transportes a longas distâncias, evitar juntas frias, temperaturas altas, etc.

B - Cristalização mais perfeita (desenvolvimento regular dos cristais, com isso, > qualidade técnica e vantagens estéticas).

C - Concretagem em clima quente, atraso de transporte ou de lançamento
Trabalhos muito demorados.

D - Lignossulfonato de Ca, fosfatos, ácido fosfórico, açúcar, etc.

INCORPORADOES DE AR

A - Aumentar a durabilidade por reduzir a percolação da água.

B - <Exsudação, < permeabilidade, > trabalhabilidade e < resistência).

C - Concretos sujeitos a gelo e degelo; concretos menos permeáveis.

D - Tensoativos: resinas de madeira, azeites, gorduras animais ou vegetais.
(incorporam 3 a 6% de ar - 500.000 a 800.000 bolhas/m³)

PRODUTOS DE CURA

A - Impedir a evaporação rápida da água de amassamento.

B - < Retração. Hidratação do cimento menos perturbada.

C - Grandes superfícies em locais de baixa higrometria e fortes ventos.

Obs.: Se for usado CaCl_2 , o mesmo deve ser raspado e retirado após período de cura (7 a 10 dias) para não haver futura corrosão das armaduras.

DISPERSORES

A - Para obter argamassas injetáveis (tixotrópicas) Trabalhabilidade

B - Os grãos de cimento “polarizados” tendem a se afastar uns dos outros possibilitando as injeções a longas distâncias. >Resistência.

C - Injeções de bainha em concretos protendidos; concretos arrumados”.

D - Os grãos podem ser eletrizados por laminação, choques e atritos”.

IMPERMEABILIZANTES

A - Melhorar a estanqueidade dos concretos

B - Hidrofugação das paredes dos capilares do cimento; precipitação de sais insolúveis nos capilares do cimento obturando-os; combater a capilaridade e combater a água sob pressão.

C - Estruturas destinadas a conter água. Impermeabilizações.

D - Hidrófugos de massa:

a) orgânicos como oleatos e estearatos de Ca, Mg, Na, K, Al, etc.

b) minerais como silicatos alcalinos, fluorsilicatos, sulfatos de alumínio, cloretos e fluoretos de Zn .
Pozolanas em concretos de boa qualidade são também eficientes.

Hidrófugos de superfície: asfaltos e alcatrões, silicones e outras resinas da indústria plástica (acrílicas, alquídicas, vinílicas, etc) silicatos, fluorsilicatos, tetrafluoreto de silício, óleos secativos e outros.

EXPANSORES

A - preenchimento de cavidades, injeções, etc.

B - Compensar a retração, com vantagens. (melhoras técnicas e estéticas)

C - recomposições, injeções de bainhas, concretos “arrumados”.

D - Reações Expansivas :

- ferro finamente dividido + álcali $\Rightarrow$ hidróxido

- sulfoaluminato de cálcio

Reações Geradoras de gases:

- pó de alumínio + $\text{Ca}(\text{OH})_2 \Rightarrow$ libera hidrogênio

- $\text{CaC}_2 + \text{H}_2\text{O} \Rightarrow$ libera bolhas de acetileno.

MATERIAIS POZOLÂNICOS

Classificação, Composição e Características dos Materiais Pozolânicos para Concreto

Classificação		Composição química e mineralógica	Características das partículas
Cimentantes e Pozolânicos	Escória granulada de alto-forno (cimentante)	Na maior parte silicatos vítreos contendo principalmente cálcio, magnésio, alumínio e sílica. Podem conter pequenas quantidades de outros elementos.	O material não processado tem a dimensão da areia com 10 a 15% de umidade. Antes de empregado deve ser seco e moído até finura $<45\mu\text{m}$ ($\cong 500\text{m}^2/\text{kg}$ de finura Blaine). Textura rugosa
	Cinza volante alto-cálcio e (cimentante pozolânica)	Na maior parte vidro de silicato contendo principalmente Ca, Mg, Al e álcalis. Pequena quantidade de matéria cristalina quartzo e C_3A ; podem conter CaO livre e periclásio. Carvões com alto teor de enxofre podem conter sulfatos. O carbono não queimado é comumente $< 2\%$.	pó com 10 a 15% de partículas $> 45\mu\text{m}$ ($300\text{-}400\text{m}^2/\text{kg}$ Blaine). Muitas partículas são esféricas $\phi < 20\mu\text{m}$. A superfície das partículas é lisa, mas não tão limpas quanto as cinzas de baixo teor de cálcio.

Pozolanas altamente reativas	Microsílica	é essencialmente constituída de sílica pura na forma não cristalina	pó extremamente fino consistindo de esferas com ϕ médio de $0,1\mu\text{m}$ (área específica, por adsorção de nitrogênio, de $60.000\text{m}^2/\text{kg}$)
	Cinza de casca de arroz	é essencialmente constituída de sílica pura na forma não cristalina.	partículas geralmente $< 45\mu\text{m}$, mas altamente celulares. (área específica, por adsorção de N_2 , $60\text{m}^2/\text{g}$)
Pozolanas Comuns	Cinza volante de baixo teor de cálcio	Na maior parte vidro de silicato contendo Al, Fe e álcalis. A pequena quantidade de matéria cristalina presente consiste geralmente de quartzo, mulita, silimanita, hematita e magnesita	Pó com 15-30% de partículas maiores do que $45\mu\text{m}$ (comumente 200 a $300\text{m}^2/\text{kg}$ de finura Blaine). A maior parte das partículas são esferas sólidas com $20\mu\text{m}$ de diâmetro médio. podem estar presentes cenosferas e plenosferas
	Materiais naturais	As pozolanas naturais contêm quartzo, feldspato e mica, além de vidro de aluminossilicato	As partículas são moídas abaixo de $45\mu\text{m}$, na maior parte e tem textura rugosa.
Pozolanas pouco reativas	Escória de alto forno resfriada lentamente, cinza. de grelha, etc.	Consiste essencialmente de silicatos cristalinos e somente uma pequena quantidade de matéria não cristalina.	Os materiais devem ser moídos a um pó muito fino para desenvolver uma certa atividade pozolânica. As partículas moídas tem textura rugosa

CONCRETOS ESPECIAIS

O avanço crescente da técnica de construir força o aparecimento de materiais que consigam responder às condições impostas em cada situação de obra.

No setor de concretos hidráulicos, surgiram interessantes tipos com características particulares e definidas.

São aqui classificados na seguinte relação, evidentemente incompleta:

- | | |
|--|---|
| 1 - Concretos leves | { porosos, aerados ou celulares,
com agregados leves,
sem finos |
| 2 - Concretos com ar incorporado | |
| 3 - Concretos-massa | |
| 4 - Concretos coloidais (ou injetados) | |
| 5 - Concretos a vácuo | |
| 6 - Concretos refratários | |
| 7 - Concretos pesados | |

1 - Concretos leves:

Visando reduzir o peso próprio (carga morta), tornando o concreto mais competitivo e de maior velocidade de execução, além de dar-lhe novas propriedades como, por exemplo, o isolamento térmico, surgiram e se desenvolveram, então, os concretos leves.

Caracterizam-se esses concretos pela baixa massa específica aparente em relação aos concretos normais ou tradicionais.

Admite-se em geral 2000 kg/m³ como valor máximo para o concreto ser considerado leve (1800 kg/m³ para alguns).

A redução de peso do concreto leve é obtida pela formação de vazios por um dos três processos a seguir indicados, que dão origem aos três tipos de material:

1.1 - Concretos porosos, celulares ou aerados - obtidos pela formação de gases ou espumas estáveis, aprisionadas no interior da massa.

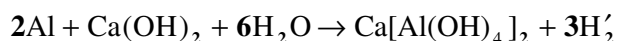
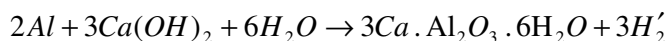
São especialmente leves, massas específicas compreendidas entre 300 e 1200 kg/m³, de ótimo comportamento como isolante térmico, mas de baixa resistência mecânica.

São impropriamente chamados concretos, pois em realidade são argamassas porosas em que as bolhas de gás ou ar formam-se no seu interior. Os dois modos de produzi-los são: formação de um gás na mistura, por ação química, e adição de espuma ou agente produtor de espuma, que fica estável no interior da massa.

1.1.2 - Concretos gasosos:

Os principais agentes formadores de gás são a seguir indicados:

Pó de alumínio - Utiliza-se um pó muito fino passante na peneira n° 200 (Área específica Blaine de 460 a 600 m²/kg) que reage com a cal desprendendo hidrogênio, de acordo com uma das seguintes reações:



Quanto mais fino o pó, mais gás gera:

- 1g de pó passando na peneira de 0,3 mm dá cerca de 16 cm³ de gás

- 1g de pó passando na peneira 200 dá 615 cm³ de gás

A dosagem desses concretos é feita totalmente por via experimental, estando o pó de alumínio compreendido entre 0,2% e 0,5% do peso do cimento. Sendo o traço em peso ::1:k:m:x (cimento: cal: agregado: água), o consumo será:

$$C = \frac{\gamma_{concreto}}{1 + k + m + x} ; \quad \gamma_{concreto} \text{ é a massa específica a ser obtida.}$$

As quantidades de agregado, cal e água por m³ serão:

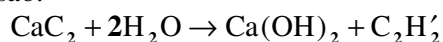
$$M = Cm$$

$$K = Ck$$

$$A = Cx$$

Obs.: para um consumo de cimento de 180 kg/m³, num traço 1:0,5:4:0,85 , o concreto terá massa específica γ igual a 1.143 kg/m³.

Carbureto de cálcio - O carbureto de cálcio reage com a água formando acetileno, conforme a expressão:



1.1.3 - Concretos espumosos: Os concretos espumosos são produzidos pela formação de uma espuma estável na pasta ou argamassa de cimento. Os principais formadores de espuma são proteínas hidrolisadas, resinas saponificáveis, agentes sintéticos de superfície ativa, sangue hidrolisado, cola animal, etc. Estes agentes são protegidos por patentes, o que torna difícil o conhecimento exato de suas características.

Um dos primeiros agentes espumígenos foi o ácido naftalino-sulfúrico utilizado em pó, em geral na proporção de 1% do peso do cimento.

Dois são os métodos usuais de produção:

1. Formação de espuma com aparelhagem especial e sua adição posterior à argamassa;
2. Formação de espuma na argamassa, pela adição de espumígeno e mistura contemporânea de materiais.

Obs.:O primeiro método é o mais seguido.

1.1.4 - Resistência Mecânica, retração e condutibilidade térmica

Estas são as propriedades mais importantes para os concretos celulares. Assim, se for fixada uma massa específica máxima, o concreto deverá apresentar uma resistência mínima, ambas evidentemente ligadas à condutibilidade térmica e à retração.

Os resultados mais interessantes obtidos por vários pesquisadores permitem adotar a seguinte tabela:

Massa Específica Aparente (t^3 / m)	Condutibilidade Térmica (kcal / m .h.°C)
0,2	0,074 a 0,100
0,3	0,083 a 0,114
0,5	0,160 a 0,220
0,8	0,290 a 0,400
1,0	0,380 a 0,530
1,2	0,480 a 0,660

Os concretos celulares apresentam alta retração, pois são ricos em cimento, de elevada relação A/C e a influência da retração da pasta, em virtude dos vazios, é mais importante do que no concreto denso.

Autoclavagem: Para melhorar as características de resistência e retração do concreto celular, é usual submetê-lo, logo após o esponjamento, a uma autoclavagem. A temperatura da autoclave varia entre 160 a 250°C, com pressão de 6 a 12 kgf/cm². A duração do processo é da ordem de 5 horas.

Há uma melhoria sensível na resistência pela reação da cal com a sílica, formando silicatos. Essa cal pode provir da hidratação do cimento ou da adição de cal ao conjunto.

1.2 - Concretos com agregados leves: São aqueles em que os agregados têm estrutura celular porosa; as células de ar estão nas partículas de agregados que apresentam massa específica aparente bem menor que os agregados naturais. A massa específica varia de 950 a 2000 kg/m³ dependendo da utilização de agregados leves só graúdos ou ambos leves. A resistência varia na razão direta da massa específica, acontecendo o inverso com o isolamento térmico.

São utilizados agregados naturais ou artificiais. Como exemplo do primeiro caso tem-se a PUMICE, que é uma lava porosa, com porosidade irregular, resistência à compressão variável e grãos de arestas vivas.

Não é encontrado no Brasil.

Como produtos manufaturados encontram-se os seguintes:

a) Vermiculita - Constituída de silicatos provenientes da decomposição da mica que, aquecidos, apresentam a propriedade de esfoliar. Submetidos à temperatura de cerca de 1000°C, a água ao ser expulsa provoca a expansão, que pode chegar a 20 vezes o volume inicial.

b) Escória de Alto-forno - Esfriada rapidamente e com pouca água, dá um material poroso que, britado e classificado, pode ser usado como agregado leve.

c) Cinza leve - A queima de certos carvões dá como resíduo uma cinza muito fina, que submetida a altas temperaturas (1200°C) sinteriza sob a forma de grãos aproximadamente esféricos, muito duros.

d) Argila expandida - certas argilas aquecidas rapidamente a temperaturas entre 1000 e 1200°C desenvolvem gases que aprisionados na massa de alta viscosidade originam expansões.

O grão é constituído de células separadas por paredes vitrificadas.

Na tabela abaixo se encontra uma súmula das principais características do concretos leves mais usuais.

Tipo de concreto	Traços usuais (peso)	Massa específica (kg/m³)	Resistência à compressão (MPa)	Resistividade térmica (seco) (1)
NORMAL	1:5	2300	20	0,10
	a	a	a	a
	1:7	2500	30	0,15
PUMICE	1:5	700	1,5	0,60
	a	a	a	a
	1:7	1200	4,0	0,80
ESCÓRIA	1:6	950	1,5	0,33
	a	a	a	a
	1:12	1600	14,0	0,67
ARGILA EXPANDIDA	1:3	900	5,0	0,20
	a	a	a	a
	1:8	1900	30,0	0,44
CINZA LEVE SINTERIZADA	1:3	900	3,5	0,20
	a	a	a	a
	1:8	1900	25,0	0,55
VERMICULITA	1:3	400	1	0,55
	a	a	a	a
	1:8	800	3	1,00
SEM FINOS	1:8	1500	4	0,45
	a	a	a	a
	1:12	1800 (2)	6	0,60
CELULAR	-	400	1,5	0,60
		a	a	a
	-	1000	3,5	0,33

Observações:

- ☐ - Número de horas para transmitir 1 BTU por pé quadrado para 1°F entre superfícies de 1" de espessura.
- ☐ - Utilizando agregados leves a massa específica aparente baixa para 700 a 1200 kg/m³.

1. 3 - Concretos sem finos - obtidos pela confecção de concretos sem agregado miúdo. Moderadamente leves, de boas qualidades como isolante térmico, mas de baixa resistência mecânica. A massa específica varia de 700 a 1800 kg/m³. O adensamento desse tipo de concreto deve ser manual para não eliminarem a pasta de recobrimento. O isolamento térmico é cerca de 25% maior que o do concreto denso, feito com o mesmo agregado.

2 - Concretos com Ar Incorporado:

Este tipo de concreto não deve ser confundido com os porosos, pois deles se afasta não só pela porcentagem de ar contido na massa, como também pelo tamanho e disposição das bolhas de ar.

O ar intencionalmente incorporado tem uma porcentagem variável de 3 a 6% (note-se que o ar aprisionado raramente excede 1,5%), em média 4%, com uma quantidade estimada entre 500.000 e 800.000 bolhas por m³ de concreto. Seu diâmetro é de 100μ.

As bolhas disseminadas em toda a massa cortam praticamente todos os capilares, cujos diâmetros são da ordem de microns, o que reduz de muito a capilaridade, higroscopicidade e permeabilidade do concreto.

Os concretos desse tipo apresentam também uma resistência notável ao fenômeno de congelção e degelo, bem como à ação de águas agressivas.

A incorporação de ar diminui a resistência aos esforços mecânicos; como, porém, o incorporador melhora a trabalhabilidade pode-se reduzir a relação água/cimento e, com isso, compensar total ou parcialmente a perda de resistência. Nos traços pobres há uma compensação total, havendo uma certa perda nos traços ricos.

Interessará sempre um modo prático de se determinar, no laboratório ou na obra, a porcentagem de ar intencionalmente incorporado.

Dois são os principais processos: o gravimétrico e o de pressão. No primeiro deles, a quantidade de ar se determina comparando o peso da unidade de volume da mistura fresca, determinado experimentalmente, com o peso de unidade de volume do mesmo concreto, excluindo os vazios, que se podem calcular conhecendo com exatidão os pesos de cada um dos componentes e suas massas específicas absolutas.

O segundo método se baseia no fato de que o ar disseminado na massa é o único componente compressível que responde, para temperatura constante, às mudanças de pressão, de acordo com a lei de Boyle-Mariotte; (funcionamento do aparelho visto no item aditivos).

3 - Concreto Massa:

3.1 - Histórico

Nas estruturas de concreto fortemente solicitadas, a composição do concreto, especialmente a dosagem do cimento, é fixada baseada em valores experimentais que correspondem às solicitações que agem sobre determinada parte da obra.

Por outro lado, naquelas obras de concreto simples, pouco solicitadas e que resistem às cargas mais pela forma e massa do que pela resistência, como é o caso das barragens tipo gravidade, a quantidade de cimento usualmente empregada no concreto é muito maior que o efetivamente exigido pelas condições estáticas.

Procura-se, pois, nesses tipos de concreto, reduzir sensivelmente o consumo de cimento a fim de atender `a outras características, tais como a geração de menor quantidade de calor pela hidratação e, assim, minimizar as variações dimensionais e as possibilidades de fissuramento por ocasião do resfriamento diferenciado da massa.

Pode-se, pois, tentar definir o concreto-massa como “concreto utilizado em peças de grandes dimensões, sem armadura, e caracterizado por consumos baixos de cimento, agregados de elevado diâmetro máximo, e com geração de baixa quantidade de calor de hidratação”.

Com o aumento de altura das barragens, do seu volume total e da sua importância, foi necessário aperfeiçoar os métodos de construção e dar maior cuidado na seleção e proporcionamento dos materiais.

Com o advento do conhecimento dos trabalhos de Abrams, depois de 1908, grandemente difundidos a partir de 1916, iniciou-se a tendência da redução da relação A/C e conseqüentemente a redução do teor de cimento, bem como a melhoria dos meios de adensamento.

Com os estudos de Bogue sobre a constituição do cimento portland, pôde ser posta em evidência a contribuição dos diversos compostos para a geração do calor de hidratação, passando-se a partir daí a cuidar melhor não só da quantidade, como da qualidade do cimento empregado na construção.

Rapidamente foram sendo dados os seguintes passos:

- Agregados com DMC cada vez maior, atingindo-se até valores de 150 mm;
- Consumos de cimento cada vez menores, da ordem de 70 a 160 kg/m³;
- Concreto com consistência cada vez mais seca e uso de vibradores adequados
- Execução de concretagem de grandes volumes por jornada de trabalho;
- Uso de pozolanas para substituição de parte do cimento, com reflexos tanto

na economia da obra, como nas propriedades térmicas já então consideradas fundamentais;

- Uso de aditivos, principalmente retardadores de pega e endurecimento, visando facilitar e resolver os problemas de lançamentos maciços, ou incorporadores de ar com grande influência na durabilidade;
- Uso de cimento especiais;
- Introduziu-se o resfriamento quer dos agregados, quer do concreto em fase de execução, quer do concreto durante o endurecimento.
- Introdução da tecnologia do concreto compactado com rolo

O uso de pozolanas, além do acréscimo de resistência mecânica, mostrou ser eficiente não só para combater o calor de hidratação, como também para diminuir substancialmente a expansão proveniente das reações álcali-sílica e álcali-carbonato dos agregados com os álcalis do cimento, e prover maior resistência do concreto ao ataque por sulfatos.

O avanço na seleção de materiais, nos aditivos, no proporcionamento da mistura e dos meios e modos de execução da obra, passaram a exigir também controles mais adequados e mais precisos dos constituintes e das diferentes fases da produção.

3.2 - Materiais Constituintes:

3.2.1 - Cimentos:

Os tipos de cimento mais adequados à utilização dos concretos massa são:

- a) Cimentos de baixo calor de hidratação, cujas propriedades são provenientes dos baixos teores de C_3A e C_3S , os maiores responsáveis pelo alto calor gerado na sua reação com a água.
- b) Cimentos metalúrgicos, obtidos pela mistura íntima durante a moagem do clínquer de cimento com escórias granulares de alto forno. Tanto o cimento de alto-forno – CP III (35 a 70% de escória), como o cimento composto com escória – CP II-E (< 34%) são utilizáveis, pois a lenta hidratação motivada pela existência de escória permite uma dissipação mais fácil do calor gerado.
- c) Cimentos pozolânicos, obtidos pela moagem íntima de clínquer e pozolanas naturais ou artificiais, destacando-se entre as últimas: a cinza volante, resíduo de usinas termoeletricas e a pozolana resultante da queima de determinadas argilas.
- d) Cimentos portland comuns com baixo teor de álcalis, indicado pelo valor máximo de 0,6%, calculado com a soma da porcentagem de Na_2O e 0,658 da porcentagem de K_2O .

3.2.2 - Pozolanas: (ver também o Capítulo “Aditivos e Adições Minerais”)

Podem ser definidas como “materiais silicosos ou sílico-aluminosos”, sem valor ou com pouco valor com aglomerantes, mas que finamente divididos, em presença de umidade, reagem com o hidróxido de cálcio liberado na hidratação do cimento, e formam compostos com propriedades aglomerantes.

As pozolanas naturais são materiais que ocorrem em jazidas e que não requerem tratamento maior a não ser moagem em alguns casos. Procedem de rochas vulcânicas e cinzas vulcânicas. As mais conhecidas mundialmente são: as pozolanas italianas encontradas perto de Nápoles, as da ilha grega do Santorin e a rocha de origem vulcânica conhecida como Trass, na Alemanha.

O Kieselguhr, terra de diatomáceas ou diatomita, é um depósito sedimentar de granulação fina, constituída de carapaças silicosas de plantas aquáticas.

As pozolanas artificiais resultam da calcinação de rochas sedimentares em temperaturas adequadas, cerca de $1.000^{\circ}C$, tais como as argilas caulínicas, montmoriloníticas ou ilíticas. Um outro tipo de pozolana artificial resulta da queima de casca de arroz ou outros vegetais e seu uso está sendo testado.

As cinzas leves e volantes, provenientes da queima de carvão pulverizado em usinas termoeletricas, quando finamente divididas e com composição química adequada, constituem excelente pozolana.

No Brasil são utilizadas as cinzas volantes das usinas de Candiota (RS), Charqueadas (RS), Tubarão (SC) e Figueira (PR), bem como foi instalada uma fábrica de pozolana por queima de argila em Jupia.

3.2.3 - Aditivos:

Os aditivos mais comumente empregados nos concreto-massa são os retardadores de pega, os plastificantes redutoras de água e os incorporadores de ar. Os dois primeiros influenciam as propriedades do concreto fresco, ao passo que o último vai modificar o comportamento do concreto endurecido.

3.2.4 - Agregados:

Devem obedecer a Norma NBR-7211 e o principal já foi apresentado na apostila da 1ª parte.

Elementos dos agregados que reagem com o cimento:

Reação álcali - Sílica (NBR 9773) e álcali – carbonato (NBR 10340)

Reação álcali - carbonato - Existem exemplos de expansões no concreto quando o agregado é calcário dolomítico. Neste caso parece haver correlação com o teor de álcalis no cimento dando uma reação álcali-carbonato.

Experiências feitas por Hadley mostraram que um cristal isolado expande quando imerso numa solução de hidróxido de sódio.

Os estudos de Sherwood e Newlon em Studies on the Mechanism of Alkali-Carbonate Reaction mostram que minerais de dolomita em rochas carbonatadas aumentam em volume, quando expostas a solução de KOH ou NaOH.

A expansão está diretamente relacionada ao teor de dolomita, havendo deterioração desse mineral. O mineral dolomita parece ser o componente ativo destas rochas dolomíticas.

A reação que toma o nome de desdolomitização pode ser apresentada como:



O método de verificação da reatividade carbonato está expresso nos métodos da NBR10.340 e pela ASTM de números C-346/67 e C-586/69.

Impurezas orgânicas - A matéria orgânica interfere sensivelmente na aderência entre a pasta e o agregado, bem como na pega e no endurecimento do cimento.

Solos com húmus, partículas de vegetais, raízes, produtos animais, podem contaminar o agregado, principalmente o agregado miúdo, pelos ácidos orgânicos que contêm.

O ensaio colorimétrico, apesar de suas imperfeições, é ainda o mais usado para indicar esses materiais nocivos. (NBR-7220)

Sais solúveis - As impurezas de sais solúveis reagem com os componentes do concreto, afetando a pega e o endurecimento.

A impureza mais comum nos agregados, deste ponto de vista, é o gesso. A reação do sulfato de cálcio com o aluminato tricálcico forma um sulfoaluminato (sal de Candlot) de alta capacidade expansiva, capaz de destruir a massa.

3.2.5 - Água:

As águas de amassamento e cura deverão possuir as características vistas no capítulo correspondente.

3.3 - Propriedades:

3.3.1 - Resistência Mecânica:

Em geral, a resistência mecânica exigida para estruturas em concreto-massa é bastante baixa, o que possibilita obter misturas com baixos teores de cimento, que, além de econômicos, geram pouco calor de hidratação. Raramente são necessários valores altos de resistência com pouca idade, razão pela qual a resistência do projeto pode ser atingida aos 3 meses e às vezes até com 1 ano de execução.

Bem mais importante é a escolha do tipo e tamanho dos corpos de prova. Para o ensaio de compressão, existem dificuldades de aceitar o corpo de prova cilíndrico de 15cm x 30cm, em virtude de normalmente existirem agregados com dimensões de 100 mm, cilindro terá 30cm x 60cm e para 150mm as dimensões seriam 45cm x 90cm.

3.3.2 - Demais propriedades:

As demais propriedades já forma de certa forma abordadas no capítulo específico. O estudo mais aprofundado da Produção e Controle Tecnológico do Concreto-massa pode ser encontrado na bibliografia citada.

4 - Concretos Coloidais (ou injetados):

Concreto injetado ou coloidal é um concreto obtido a partir da injeção de uma argamassa, de modo a preencher os vazios de um agregado graúdo, previamente colocado nas formas.

As diferenças para o concreto convencional são: alta porcentagem de agregado graúdo, diminuição da retração pelo contato de grão a grão do agregado graúdo (cerca de metade do concreto normal), módulo de elasticidade mais alto do que o do concreto comum, resistência à compressão da mesma ordem de grandeza, porém com menor resistência à tração, impossibilidade de usar vibração interna.

O concreto coloidal apresenta vantagens na técnica do concreto submerso ou em reparações de defeitos pela baixa retração que apresenta.

Com relação ao tamanho máximo do agregado, pode-se indicar que ele não deverá ser maior que $\frac{1}{4}$ da menor da menor dimensão da peça, nem $\frac{2}{3}$ da distância mínima entre as barras da armadura.

4.1 - Argamassas coloidais:

O uso das pastas para injeções em fissuras de rochas em fundações, barragens, túneis, etc. é muito antigo. Mais tarde foram usadas para enchimento de fissuras em estruturas e para a proteção de barras de aço de protensão com o preenchimento das bainhas.

Para facilidade da execução das injeções, as argamassas e pastas devem ter suas propriedades, no estado fresco, modificadas pela adição de fluidificantes, pozolanas, agentes expansivos, colorantes, etc.

O cimento utilizado é normalmente o portland comum. A pozolana pode ser natural ou artificial; entre as últimas destaca-se o **fly-ash**, fluidificante e, às vezes, pó de alumínio em pequena proporção (0,01 a 0,02% do peso do cimento, mais pozolana) para originar uma expansão controlada. A argamassa é geralmente de traço em peso 1:1 a 1:2, atingindo raramente 1:3.

Um traço bastante empregado em peso é 2:1:3:0,8 ; respectivamente cimento, pozolana, areia e água.

5 - Cimentos a Vácuo:

A quantidade de água utilizada para misturar e adensar o concreto é maior do que a necessária para hidratar o aglomerante.

Surgiu daí a idéia de eliminar a água excedente logo após o adensamento. O processo foi inicialmente imaginado por **Karl Billner**, que conseguiu por meios simples, não só eliminar a água por sucção, como ao mesmo tempo, aplicar uma forte compressão às faces externas do concreto.

O processo consiste em aplicar sobre a massa uma placa rígida formada por treliças recobertas por um tecido forte, porém permeável, e sobre estas, outra parede repousando sobre borrachas, formando uma cavidade sobre o concreto. Fazendo-se vácuo nessa cavidade, por meio de uma bomba de vazão conveniente, aplica-se, graças à pressão atmosférica, uma compressão na superfície, que se estende por larga área.

Evidentemente, o concreto a vácuo só se aplica em espessuras reduzidas. É também procedimento interessante na indústria de pré-moldados, pela facilidade de desmoldar a peça logo após a sua execução, aproveitando mais intensamente o jogo de moldes disponíveis.

6 - Concretos Refratários:

Se o concreto, durante seu uso, tiver de suportar elevadas temperaturas ou mudanças térmicas, será necessário um concreto especial, que toma o nome de refratário e cujas características próprias conduzem a um comportamento adequado naquelas condições de exposição.

Para obter um concreto refratário, que não se desintegre a um aquecimento prolongado nas temperaturas de serviço, deve-se utilizar o cimento aluminoso como aglomerante e, como agregados, materiais refratários mais ou menos silícicos, para temperaturas pouco elevadas, mais aluminosos, para temperaturas maiores, e, finalmente, agregados com o córidon, o carborundum, a cromita, a magnesita, etc, para as mais altas temperaturas.

O quadro seguinte dá indicações sumárias sobre esses concretos:

Temperaturas de Serviço	Aglomerantes	Agregados
< 300°C	Cimento Portland	Normais
300°C - 500°C	Cimento Aluminoso	Normais
500°C - 800°C		Tijolo cerâmico ordinário
800°C - 1000°C		Refratário ordinário
1000°C - 1200°C		Refratário c/ mais de 25% Alumina
1200°C - 1400°C		Refratários especiais

Obs.: Este concreto se consome com o tempo, estando sua economia ligada ao custo inicial e sua duração.

7 - Concretos Pesados

Entende-se por concreto pesado aquele cuja massa específica é bastante superior à massa específica dos concretos correntes (2400 kg/m³).

Originalmente sua utilização se restringia à execução de contra pesos para elevador e, lastros fixos ou móveis, contrapesos de pontes basculantes e tensores de cabos.

A necessidade de proteção de pessoas contra os efeitos biológicos das radiações: raios-X e γ , bombas de cobalto, emissões por materiais radioativos, proteção em reatores nucleares e aceleradores de partículas, colocou os concretos pesados no primeiro plano de importância dentre os concretos especiais.

Radiações - Os materiais radioativos e as reações nucleares dão os seguintes tipos de radiação:

- Partículas α , com baixo teor de penetração;
- Partículas β , com grande poder de penetração;
- Raios γ , dotados de alta energia e altíssimo poder de penetração;
- Nêutrons, poder de penetração extremamente alto. Os nêutrons podem passar através de uma placa de chumbo de 50cm de espessura.

Para proteção do homem, todas as radiações devem ser atenuadas ou absorvidas. As radiações particularmente nocivas, porque são mais penetrantes, são os nêutrons e os raios γ . Em essência, os nêutrons são absorvidos por materiais de baixa densidade (hidrogênio contido na água, por exemplo) e os raios γ , ao contrário, por materiais de alta densidade. A atenuação dos nêutrons e dos raios γ exigem a presença de diferentes elementos no material de proteção, sendo que o concreto satisfaz estas condições pela alta densidade e por conter numerosos átomos de hidrogênio. Normalmente o cimento utilizado é comum, os agregados é que são especiais.

Agregados - Os agregados mais usados e suas características estão no quadro abaixo, onde foi adicionado o basalto para comparação.

Tipo	Principal constituinte	Massa Específica (kg/m³)	Massa Unitária Média	Massa específica do concreto (kg/m³)
Granalha	Fe	7500	5500	5000
Hematita	Fe_2O_3	5000 - 5500	4800	4200
Goethita	$\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$	3500 - 4300	3000	3000
Limonita	$\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$	2700 - 4300	2800	2600
Magnetita	Fe_3O_4	4000 - 5200	3500	3300
Barita	BaSO_4	4000 - 4500	3500	3300
Galena	PbS	7600	5500	5000
Córrindon	Al_2O_3	4000	3500	3300
Basalto	$\text{SiO}_2 - \text{FeO} - \text{Al}_2\text{O}_3$	2800	1500	2400

BIBLIOGRAFIA

- 01 - **Apostila de Materiais de Construção I** (edição 2008).
- 02 - Isaia, Geraldo C.(Editor). **Materiais de Construção Civil**. 1ª ed. IBRACON, 2007.
- 03 - Isaia, Geraldo C.(Editor). **CONCRETO: ensino, pesquisa e realizações**. 1ª ed. IBRACON, 2005.
- 04 - Aïtcin, Pierre-Claude. **Concreto de Alto Desempenho** Ed. PINI 2000
- 05 - ABNT. **Métodos, Especificações e Normas**.
- 06 - Mehta, P.K. **Concreto: Estrutura Propriedades e Materiais**. PINI 1994
- 07 - Sousa Coutinho, A. **Fabrico e Propriedades do Betão**. LNEC, Portugal.
- 08 - Neville, Adam M. **Propriedades do Concreto** Ed. PINI.
- 09 - Helene, P. e Terzian, P. **Manual de Dosagem e Controle do Concreto**. Ed. PINI, 1992.
- 10 - O'Reilly, Vitervo A. **Método de Dosagem de Concreto ...**. PINI 1998
- 11 - Equipe do Laboratório de Furnas. **Concretos – Ensaios e Propriedades**. PINI 97
- 12 - Trabalhos dos últimos congressos (CBC) do IBRACON.
- 13 - Artigos e sobre Concreto: ABCP, IPT, CONVÊNIO CAPES, etc.